

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ -
TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

Hornicko-geologická fakulta

Institut environmentálního inženýrství

POUŽITÍ ČÁSTEČNĚ HYDROLYZOVANÝCH
KOAGULANTŮ PŘI ÚPRAVĚ VOD

USE OF PRE-HYDROLYSED COAGULANTS FOR
WATER TREATMENT

Diplomová práce

Autor:

Bc. Gabriela Zapletalová

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jitka Chromíková, Ph.D.

Ostrava 2017

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Hornicko-geologická fakulta
Institut environmentálního inženýrství

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Gabriela Zapletalová**
Studijní program: **N2102 Nerostné suroviny**
Studijní obor: **2102T006 Technologie a hospodaření s vodou**
Téma: **Použití částečně hydrolyzovaných koagulantů při úpravě vod**
Use of pre-hydrolysed coagulants for water treatment
Jazyk vypracování: **čeština**

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Literární rešerše - problematika koagulace a flokulace v technologii vody
3. Používané koagulanty v technologii vody
4. Laboratorní testy s částečně hydrolyzovanými koagulanty na reálných vzorcích vod
5. Vyhodnocení laboratorních testů
6. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:


Dle pokynů vedoucího diplomové práce.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jitka Chromíková, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2016

Datum odevzdání: 28.04.2017


doc. Ing. Silvie Heviánková, Ph.D.
vedoucí institutu




prof. Ing. Jaroslav Dvořáček, CSc.
pověřený vedením fakulty

Prohlášení

- Celou diplomovou práci včetně příloh, jsem vypracovala samostatně a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu. Byla jsem seznámena s tím, že na mojí diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. — autorský zákon, zejména S 35 — využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a 60 — školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská — Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB — TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užít (S 35 ods. 3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Souhlasím s tím, že diplomová práce je licencována pod Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported licencí. Pro zobrazení kopie této licence, je možno navštívit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu o komerční využití z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo — diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu komerčnímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠBTUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne: 28.4.2017

Bc. Gabriela Zapletalová

Poděkování

Diplomová práce prezentuje znalosti nabyté v rámci projektu Institut čistých technologií těžby a užití energetických surovin - Projekt udržitelnosti. Identifikační kód: LO1406. Projekt je podporován Národním programem udržitelnosti financovaném ze státního rozpočtu ČR.

Tímto bych chtěla poděkovat své vedoucí diplomové práce paní Ing. Jitce Chromíkové, Ph.D., za věnovaný čas, cenné rady a pomoc při zpracování této diplomové práce. Dále bych chtěla poděkovat společnosti SmVaK Ostrava a.s. za odběr a dopravu vzorků surové vody z úpravny vody v Podhradí k analýze do laboratoří VŠB – TUO.

ANOTACE

Diplomová práce se zabývá zhodnocením účinnosti částečně hydrolyzovaných koagulantů při úpravě povrchových vod. Teoretická část diplomové práce je věnována popisu problematiky koagulace a flokulace v technologii vody, popisu jednotlivých koagulantů. Praktická část se věnuje vlastním laboratorním experimentům koagulace, kde jako koagulanty sloužili síran hlinitý a koagulanty řady FLOKOR dodané z polské firmy DEMPOL-ECO. Praktická část popisuje metodiky testů a analytické metody, které byly použity pro zpracování a vyhodnocení výsledků.

Klíčová slova: Úprava vody, koagulace, zákal, flokulace, zeta potenciál

SUMMARY

This diploma thesis evaluates the usability prepolymerised coagulant in water treatment technology. The theoretical part of the diploma thesis is devoted to the description of coagulation and flocculation in water technology, description of individual coagulants. Practical part is devoted to own laboratory coagulation experiments, where coagulants served with aluminum sulfate and coagulants of the FLOKOR series supplied by Polish company DEMPOL-ECO. The practical part describes the test methodologies and analytical methods used for the processing and evaluation of the results.

Key words: Water treatment, coagulation, turbidity, flocculation, zeta potential

Obsah

1.	Úvod	1
2.	Úprava vody	1
3.	Koloidní látky	3
3.1.	Stabilita	5
3.1.1.	Elektrická dvojvrstva	5
3.1.2.	Destabilizace	10
4.	Problematika koagulace a flokulace v technologii vody	12
4.1.	Koagulace	12
2.6.1	Faktory ovlivňující koagulaci	14
4.2.	Flokulace	15
5.	Koagulanty v technologii vody	17
6.	Laboratorní testy na reálných vzorcích vod	22
6.1.	Charakteristika použitých vzorků vod	22
6.2.	Použité koagulanty	22
6.3.	Metodika analýz a použité přístroje	24
6.4.	Metodika testů	28
6.4.1.	Stanovení optimální dávky	28
7.	Vyhodnocení laboratorních testů	31
7.1.	Ověření dávky koagulantu dle chemismu	31
7.1.1.	Testy se síranem hlinitým	31
7.1.2.	Testy FLOKOR 1,2A	34
7.1.3.	Testy FLOKOR 1S	37
7.1.4.	Testy FLOKR DM17H	40
7.1.5.	Testy FLOKOR D15	43
7.2.	Ověření optimální dávky dle zeta potenciálu	46

7.3.	Ověření dávky při různém teplotním režimu	47
8.	Závěr.....	49
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY:		51
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK:.....		55
SEZNAM OBRÁZKŮ:.....		56
SEZNAM TABULEK:		57

1. Úvod

Zásobování vodou je nezbytnou potřebou pro živé tvory a také především pro lidstvo. Na zemi je omezené množství dostupných vodních zdrojů. Voda spolu se zemskou atmosférou tvoří základní podmínky pro život na Zemi. Pitná voda je pro člověka životně důležitým faktorem. Před použitím pro potřebu člověka je nutno vodu upravit; zvolit vhodné použití úpravy vody

V závislosti na zvyšující se potřebě úpravy vody, na hygienické a zdravotní požadavky se zvyšuje i kontrola a optimalizace procesů používaných k úpravě vody. Zvolený proces úpravy vody závisí nejen na hygienických požadavcích ale i na výsledných vynaložených nákladech. Z toho důvodu je nutné se i nadále věnovat novým teoriím úpravy vod a dále je zavádět do praxe.

Pro úpravu surové vody na vodu pitnou nebo čištění odpadní vody se aplikuje mnoho procesů. Jedním z nich je i proces koagulace, při kterém se používá mnoho druhů koagulantů.

Proces čiření – koagulace a následná flokulace je nezbytnou součástí každého procesu úpravy vody. Při procesu čiření vzniká suspenze, jejíž vlastnosti závisí na fyzikálně - chemických vlastnostech vody, typu koagulantu, charakteru nežádoucích příměsí, ale také na jednotlivých částí celého procesu, jako je dávka činidla, vhodně zvolené míchání nebo následná separace vzniklých agregátů.

Cílem koagulace a následné flokulace je přeměnit různé druhy znečištění na takovou formu, kterou lze z vody snadno odstranit. Protože je snadnější oddělovat velké částice než malé, je cílem řady těchto procesů shlukovat (agregovat) nečistoty do největších vloček, které lze oddělovat pomocí sedimentace, filtrace nebo jinými separačními metodami.

Diplomová práce se zabývá problematikou úpravy vody a ověřením účinnosti čiření z hlediska chemismu a s ověřením měření zeta potenciálu. Pro testy byla použita surová voda z ÚV Podhradí, SmVaK Ostrava a.s. Cílem bylo ověřit účinnost zvolených koagulatů při

2017

úpravě těchto vod. Jako koaguanty byly testovány síran hlinitý a koagulanty řady FLOKOR, které k testování poskytla firma DEMPOL_ECO.

Diplomová práce je členěna na část teoretickou a část praktickou. V teoretické části je rozebírána zejména problematika koagulace a flokulace, faktory, které tyto procesy ovlivňují a charakteristika používaných koagulantů. V experimentální části jsou na úvod uvedeny metodiky analýz a jednotlivých testů. V samostatné kapitole je provedeno vyhodnocení získaných výsledků. Pro přehlednost jsou vybrané výsledky vyhodnoceny také graficky. Závěrem jsou shrnuty nejdůležitější výsledky.

2. Úprava vody

Z pohledu úpravy vody lze vodu rozdělit na vodu surovou a upravenou. V případě surové vody jde o zdroje vod povrchových a podzemních, využívaných pro úpravu na vodu pitnou. Kvalitu surové vody řeší vyhláška č. 48/2014, kterou se mění vyhláška č. 428/2001 Sb., kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb. o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu. Tato vyhláška v příloze č. 13 uvádí standartní typy úprav pro jednotlivé kategorie surové vody. Definuje celkem 45 parametrů pro hodnocení kvality surové vody, z toho je 40 chemických (z nich jsou 2 součtové) a 5 mikrobiologických a biologických ukazatelů. Vzhledem k uvedeným mezním hodnotám je surová voda rozdělena do 3 kategorií, na kategorie A1, A2 a A3, pro které jsou dané standardní typy úprav [1].

Tabulka 1 Typy úprav surových vod [1]

Kategorie	Typy úprav
A1	Jednoduchá fyzikální úprava a desinfekce, např. rychlá filtrace a desinfekce, popř. prostá písková filtrace, chemické odkyselení nebo mechanické odkyselení či odstranění plyných složek provzdušňováním
A2	Běžná fyzikální úprava a desinfekce, koagulační filtrace, infiltrace, pomalá biologická filtrace, flokulace, usazování, filtrace, desinfekce (konečné chlorování), jednostupňové či dvoustupňové odželezování nebo odmanganování
A3	Intenzivní fyzikální a chemická úprava, rozšířená úprava a desinfekce, např. chlorování do bodu zlomu, koagulace, flokulace, usazování, filtrace, adsorpce (aktivní uhlí), desinfekce (ozon, konečné chlorování). Kombinace fyzikálně-chemické, mikrobiologické a biologické úpravy.

Požadavky na úpravárenský proces a na jakost upravené vody. Upravená voda musí splňovat tyto požadavky:

- voda musí mít vyhovující jakost
- musí být minimální výrobní náklady
- voda musí být dodávána v dostatečném množství

Jakost upravené vody musí vyhovovat příslušným normám nebo směrnicím. Pro pitnou vodu platí vyhláška ministerstva zdravotnictví č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody [1].

Mezi základní procesy pro úpravu vody lze tedy zařadit filtraci, koagulaci flokulaci, sedimentaci, odželezování, odmanganování, odkyselování, úpravu pH a dezinfekci.

3. Koloidní látky

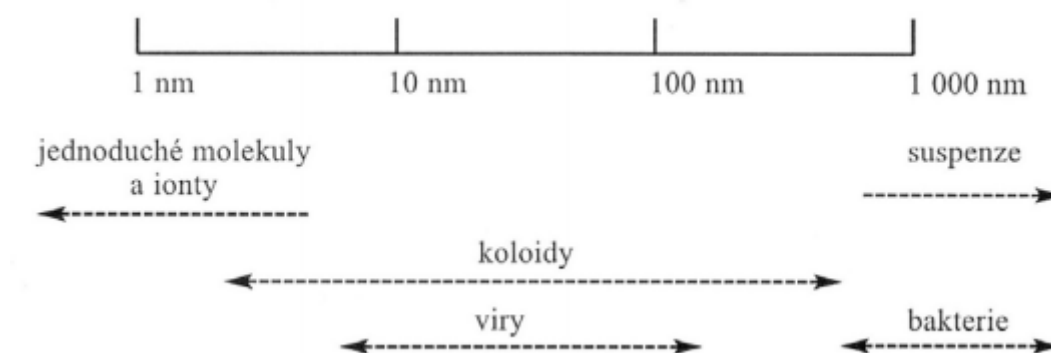
Samotnou vodu lze chápat jako disperzní systém. Disperzní soustavy jsou tvořeny disperzním podílem a disperzním prostředím. Podle velikosti částic jsou děleny na [2]:

a) Hrubě disperzní, které obsahují částice o velikosti mezi 500 nm a 1000 nm. Podle skupenství disperzního podílu dělíme hrubě disperzní soustavy na suspenze (tuhá látka), emulze (kapalina) a pěny (plyn). Tyto částice mohou být odstraněny sedimentací.

b) Koloidně disperzní, jejichž částice jsou o velikosti mezi 5 nm a 500 nm. Jsou jimi například makromolekuly o relativní molekulové hmotnosti vyšší než 1000. Sedimentace těchto částic je pomalá, proto je třeba agregovat.

c) Analyticky disperzní (pravé roztoky) s velikostí částic od 1 nm až 5 nm. Tyto částice prochází filtračním papírem a nesedimentují. Jde o jednoduché ionty a molekuly.

Významný podíl tvoří koloidy v přírodních a odpadních vodách. Koloidní disperze nesedimentují, nebo jen zvolna, proto je zapotřebí pro jejich odstranění použít fyzikálně – chemické způsoby, např. koagulace, adsorpce a membránová filtrace. Jejich odstraňování je nezbytné pro dosažení požadované jakosti vody. Mají-li dispergované částice rozměr v řádech desítek a stovek nm, jde o disperze koloidní. Přejít mezi disperzními soustavami je plynulý, a proto nelze přesně určit hranici mezi nimi. Pohybují-li se částice průměrně nad 1000 nm, pak jde o suspenze [2].



Obrázek 1 Schéma velikosti částic v disperzních soustavách [2]

Podle afinity k vodě se koloidní disperze rozdělují na [2]:

- hydrofilní koloidní disperze (roztoky)
- hydrofobní koloidní disperze (hydrosoly)

Hydrofilní koloidní disperze jsou to homogenní soustavy. Disperzními částicemi jsou makromolekuly (vysokomolekulární koloidní roztoky), nebo různé asociáty nazývané jako micely (micelární nebo asociativní koloidy). Vznikají samovolným rozpouštěním, jsou agregátně stálé při termodynamické rovnováze. Disperzní podíl lze vyloučit teprve přidáním elektrolytu o vysoké koncentraci, přidáním koloidní disperze s opačným nábojem částic nebo chemickou reakcí. Z toho důvodu jsou v přírodních vodách hydrofilní koloidní roztoky poměrně stálé. Mezi vysokomolekulární koloidy ve vodách patří bílkoviny, polysacharidy, huminové látky, třísloviny, organické flokulanty, polyfosforečnany atd., jejichž molekuly mají koloidní rozměry. [2]

Hydrofobní koloidní disperze jsou to heterogenní koloidní soustavy. Nevznikají samovolně, ale je nutná umělá dispergace nebo srážení. Jsou agregátně nestálé, protože nejsou v termodynamické rovnováze. Proces, při kterém dochází k agregaci koloidně dispergovaných částic ve větší celky se nazývá koagulace. Ve vodách probíhá samovolně nebo s umělým zásahem. Za určitých podmínek lze pozorovat i opačný proces, který se nazývá peptizace, kdy se sraženina přeměňuje na koloidní disperzi. Ve vodách mezi hydrosoly amorfni patří SiO_2 , hydratované oxidy kovů, hlinitokřemičitany (jílové minerály), emulze tuků a olejů. Hydrosoly jílových minerálů mají při hodnotách pH přírodních vod většinou záporný náboj [2].

Dalším rozdělením disperzních systémů je rozdělení dle mezimolekulových interakcí:

- lyofilní koloidní roztoky
- lyofobní koloidní disperze
- micelární koloidy

Lyofilní koloidní roztoky jsou charakteristické vznikem zejména rozpouštěním. Jsou to buď vysokomolekulárními koloidními roztoky, nebo asociáty (micely). K vysokomolekulárním koloidům se řadí polysacharidy, bílkoviny, huminové látky apod. Jsou to roztoky termodynamicky i agregátně stálé.

Lyofobní koloidní roztoky jsou charakteristické vznikem dvou fází (disperzní podíl a disperzní prostředí). Jsou termodynamicky a agregátně nestálé. Nevznikají samovolně.

Micelární koloidy jsou skupina nízkomolekulárních látek, které mohou při malých koncentracích tvořit pravé roztoky. Tyto koloidy se dále dělí na ionogenní (anionaktivní, kationaktivní a amorfní) a neionogenní [30].

3.1.Stabilita

Důležitou vlastností koloidů je jejich stabilita – kinetická a agregátní. Agregátní stabilita je způsobena přítomností náboje na povrchu částice, který zamezuje procesu agregace. Kinetická stabilita se projevuje jako schopnost odolávat odstředivému a gravitačnímu poli. Cílem úprav v technologii vody je potlačení agregátní stability [5]:

Jedním ze stabilizačních mechanismů koloidů je přítomnost náboje na povrchu částic. Tento náboj je rozhodující z pohledu chování částic v disperzním prostředí. Náboj může vzniknout ionizací povrchové vrstvy, rozpouštěním iontů krystalické mřížky, adsorpcí iontu na povrchu částice, apod [5].

Kromě přítomnosti náboje na povrchu částic jsou dalším stabilizačním mechanismy [5]:

- van der Waalsovy síly,
- elektrická dvojvrstva,
- tvorba polymerních můstků apod.

3.1.1. Elektrická dvojvrstva

Vzniká v důsledku povrchového náboje částic. V elektrolytu nemůže existovat nerovnováha v celkovém elektrickém náboji. Náboj na povrchu částice je vyrovnáván

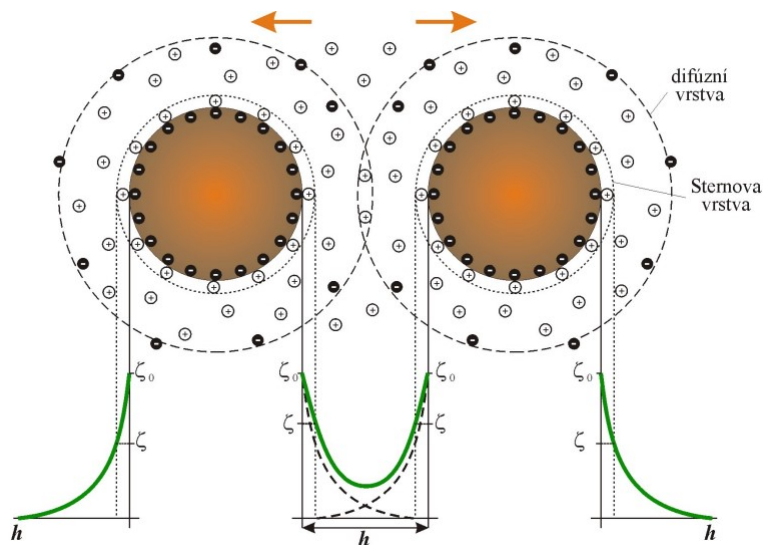
ekvivalentním množstvím opačně nabitých iontů (protiiontů), které se akumulují v jejím okolí. Ke shlukování protiiontů v blízkosti opačně nabitého povrchu koloidní částice dochází pomocí elektrostatických interakcí mezi negativně nabitým koloidem a opačně nabitými ionty. Tendence protiiontů shlukovat se na povrchu hydrofobních koloidů je redukována jejich tepelným (Brownovým) pohybem. Elektrickou dvojvrstvu tvoří náboj koloidní částice a obal protiiontů. Existuje mnoho modelů elektrické dvojvrstvy, kdy za nejlépe popisující model je považován model dle Sterna [4, 5].

Sternův model elektrické dvojvrstvy (viz. obrázek 2):

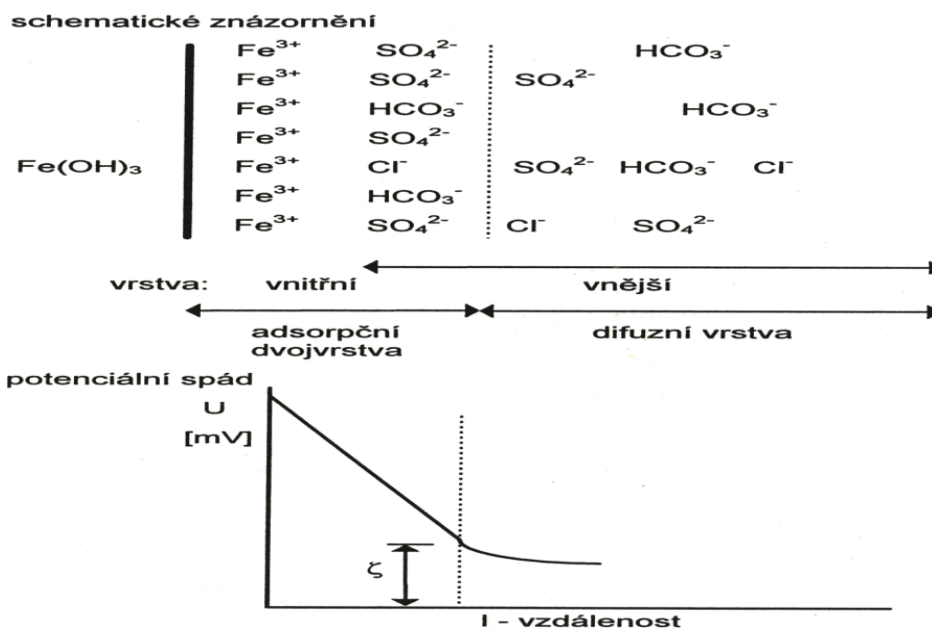
- Sternova vrstva
 - k povrchu těsně přiléhající vrstva protiiontů [7]
 - tvoří společně s nabitým povrchem částice kompaktní vnitřní vrstvu
 - celkově je asi 0,3 až 0,5 nm v rozsahu, která odpovídá průměru hydratovaného iontu [6].
- Difúzní vrstva
 - ionty se nacházejí ve větší vzdálenosti od částice, pohybují se nezávisle na pohybu koloidní částice – jejich distribuce je ovlivněna elektrostatickými silami a náhodně tepelným pohybem [7].

Pohyblivé rozhraní odděluje Sternovu a difúzní vrstvu a vykazuje tzv. elektrokinetický potenciál [7].

Jak je vidět na obrázku 3, elektrický potenciál má v adsorpční části prudký, lineární pokles, v difúzní části je volnější nelineární spád [5].



Obrázek 2 Interakce částic stabilizovaných elektrickou dvojvrstvou [8].



Obrázek 3 Elektrická dvojvrstva vzniklá na povrchu koloidní částice hydroxidu železitého [5].

Vzniklý potenciální rozdíl, který se vytváří mezi adsorpční a difúzní vrstvou se nazývá potenciál zeta. Obvykle se hodnota zeta potenciálu pohybuje v rozmezí od 50 do 100 mV. Velikost tohoto zeta potenciálu je mírou stability koloidních částic ve vodném prostředí. Vztah mezi stabilitou a zeta potenciálem je shrnut v tabulce 2.

Koagulace se rozlišuje podle rychlosti na pomalou a rychlou. Pomalá koagulace nastává při nižším zeta potenciálu, než je jeho kritická hodnota (± 30 mV). Při hodnotách, kdy je zeta potenciál roven nule dochází k rychlé koagulaci. Zeta potenciál signalizuje kinetickou stálost [8,9].

Za optimální hodnotou zeta potenciálu pro destabilizaci částic považujeme 0 mV, kdy předpokládáme maximální stupeň agregace. V závislosti na obsahu organických a anorganických látek a vlastnostech vody může být hodnota zeta potenciálu kladná, nulová nebo záporná. Některé studie uvádějí, že ideálním rozhraním potenciálu pro účinnou koagulaci je cca -10 až + 10 mV. Určení zeta potenciálu při úpravě vody získáme nejen efektivitu čiření, ale také minimalizaci nákladů [8,9].

Hodnotu zeta potenciálu ovlivňuje samotné složení roztoku. Čím je mocenství iontů v roztoku vyšší a čím je vyšší jejich koncentrace, tím je křivka potenciálu strmější a hodnota potenciálu se snižuje, takže stabilita koloidu je nižší. Ve vodách měkkých a s nízkým obsahem rozpuštěných látek je stabilita koloidů vysoká, kdežto v podzemních vodách je tvorba koloidních roztoků s vyšší koncentrací solí potlačena. Měření zeta-potenciálu spočívá na měření rychlosti částice v elektrickém poli. Částice se pohybuje v elektrickém poli s částí své elektrické dvojvrstvy. Když částice působí v elektrickém poli, tak dosáhne téměř okamžité rychlosti, kdy dojde k rovnováze mezi přitažlivými silami a odporem prostředí. [8,9].

Tabulka 2 Vztah stability a potenciálu [10].

Potenciál [mV]	Stabilita
±60 až ±40	velmi stabilní
±40 až ±20	středně stabilní
±20 až ±10	labilní
±10 až ±0	velmi labilní

Při hydrolyze hlinitých a železitých solí vznikají hydroxidy, které tvoří jádro koloidních částic. Na povrchu hydroxidů se absorbují ionty Fe^{3+} , příp. Al^{3+} ionty, ty tvoří vnitřní vrstvu a udílejí jádru kladný nebo záporný elektrický náboj. Vnitřní iontová vrstva přitahuje elektrostatickými a adsorpčními silami ionty (anionty) s opačným nábojem, které vytváří vnější vrstvu. Na tvorbě vnější vrstvy se většinou podílejí ionty SO_4^{2-} , než Cl^- a HCO_3^- . Celý útvar složený ze dvou vrstev s opačnými náboji se nazývá elektrická dvojvrstva. Vnější vrstva se skládá ze dvou částí. Adsorpční část ulpívá pevně na povrchu koloidní částice a s ní se pohybuje. Difúzní část není k částici vázána tak pevně a může se pohybovat s okolní kapalinou. Mezi povrchem koloidní částice a roztokem je pohybové rozhraní, které se nazývá rozdíl elektrického potenciálu (U). Toto pohybové rozhraní vykazuje určitý elektrokinetický potenciál, který vytváří potenciální rozdíl mezi adsorpční a difúzní vrstvou se nazývá potenciál zeta a označuje se symbolem ζ . Určení zeta potenciálu se používá pro zjištění průběhu koagulace. Dispergované koloidní částice se ve vodě pohybují ve vnějším elektrickém poli. Vznik koloidní částice lze provést pomocí jodidu stříbrného [9].

Tabulka 3 Stupeň koagulace v rozsahu Zeta potenciálu [6].

Hodnota ZP	Stupeň koagulace	Stabilita
+3 až 0	Maximální	Maximální aglomerace a srážení
-1 až -4	Vynikající	
-5 až +5		Silná aglomerace a srážení
-5 až -10	Přiměřený	
-10 až -15		Prahová
-11 až -20	Slabý	
-21 až -30	Žádný	

3.1.2. Destabilizace

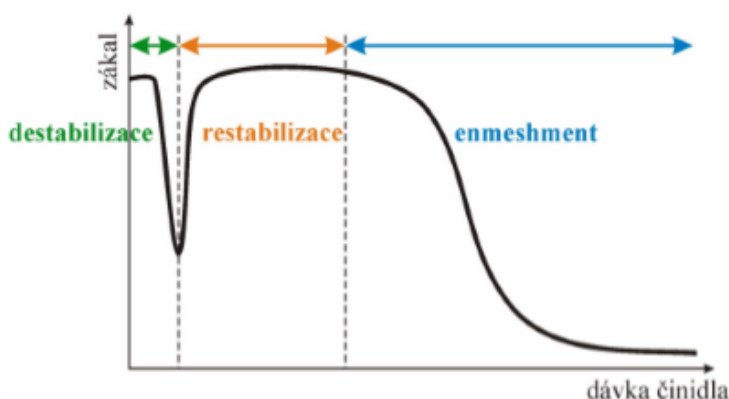
K destabilizaci dochází vlivem různých činitelů k destabilizaci a počátečnímu shlukování koloidních částic. Destabilizace má několik základních mechanismů, jako je [8]:

- potlačení elektrické dvojvrstvy,
- nábojová neutralizace,
- adsorpce,
- zachycování ve sraženině (enmeshment)
- destabilizace polymery.

Potlačením elektrické dvojvrstvy se rozumí potlačení její difúzní části přidáním elektrolytu. Při tomto ději se nemění náboj koloidu, mění se pouze hustota difúzní vrstvy. Tento mechanismus nachází uplatnění u vod obsahující jílovité koloidy [8].

Adsorpce a nábojová neutralizace je velmi pravděpodobný mechanismus destabilizace, který může nastat při dávkování kovových koagulantů. Při zvýšené dávce koagulantu a pokračující adsorpci, může dojít ke vzniku kladného náboje za opětovnému zesílení energetické bariéry, čímž dochází k zastavení procesu destabilizace a vede k restabilizaci [6].

Enmeshment je proces nabalování dalších nečistot na povrch produktů hydrolyzy kovových koagulantů. S rostoucí koncentrací koloidů roste i rychlost srážení [25].

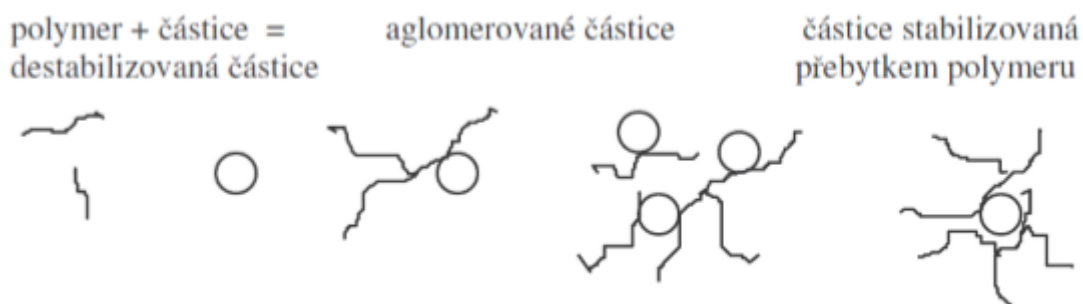


Obrázek 4 Grafické znázornění přechodu destabilizace, restabilizace a enmeshmentu [8].

Destabilizace polymery je adsorpce polymerních látek na koloidní částici. Ta je závislá na molekulární hmotnosti polymerů, jejich hustotě, iontové síle povrchu částic [6].

Průběh samotné destabilizace závisí na:

- pH
- teplotě
- druhu destabilizačního činidla
- kvalitě surové vody.

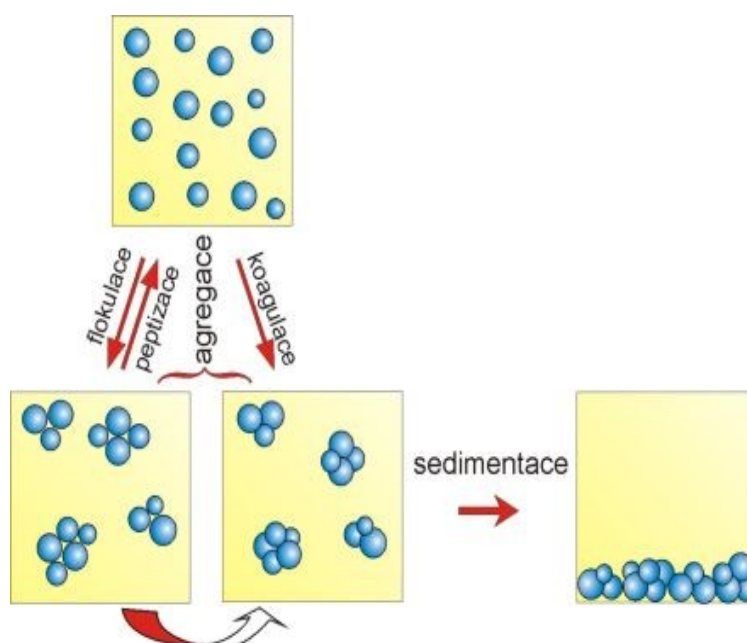


Obrázek 5 Destabilizace pomocí hydrofilních koloidů [5].

4. Problematika koagulace a flokulace v technologii vody

Mezi dva hlavní znečišťující látky v povrchových vodách patří rozpuštěné vysokomolekulární organické látky a nerozpuštěné koloidní látky. Koloidní látky se rozdělují na hydrofilní a hydrofobní. Znečišťující látky z vody nelze odstranit přímo mechanickými procesy jako je sedimentace a filtrace.

Koloidní částice se samovolně shlukují (agregují) s koloidními a suspendovanými částicemi obsaženými ve vodě [4].



Obrázek 6 Agregace disperzních částic [11]

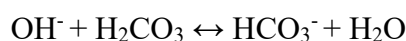
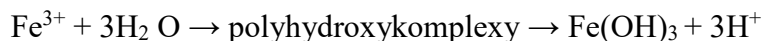
Agregace, při které vznikají shluky volně vázaných částic, se nazývá flokulace. Proces, při kterém vznikají agregáty pevně vázaných částic, je označován jako koagulace. Po dosažení určité velikosti agregátů dochází k sedimentaci (podle rozdílu hustot) [11].

4.1. Koagulace

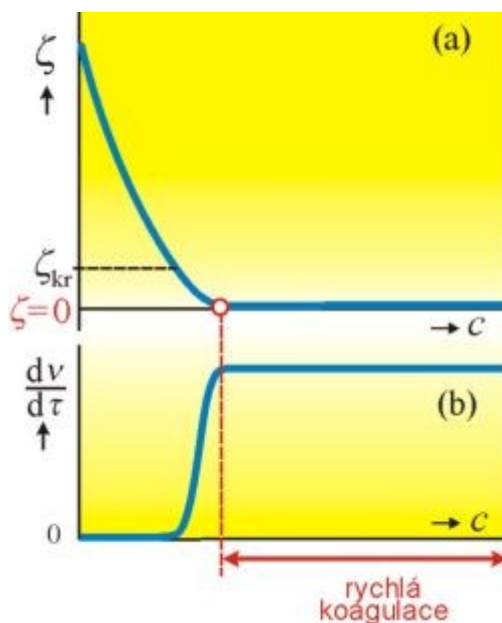
Koagulace je běžně používaná metoda v čištění odpadních vod a při úpravě povrchových vod na vodu pitnou. Koagulace je proces shlukování dispergovaných částic v suspenzi a vytváření agregátů poutané adhezními silami (mezimolekulovými), což následně vede ke snižování stupně dispergace a ke zvyšování sedimentační rychlosti. Ke koagulaci

dochází, když je velikost přitažlivých sil větší, než velikost sil odpudivých. Elektrostatické a disperzní síly působící mezi částicemi způsobují přibližování a shlukování částic tento jev se nazývá van der Waalsova síla. Když je náboj povrchu jednotlivých zrn v suspenzi stejný, budou patřit elektrostatické síly k silám odpudivým. Pokud koagulace probíhá v prostředí, kde jsou disperzní částice zbaveny stabilizace, tak každá jejich srážka způsobí jejich spojování do větších shluků, naznačuje vazbu elektrokinetického potenciálu a rychlosti koagulace na výsledné koncentraci koagulujícího elektrolytu. V oblasti rychlé koagulace se rychlost koagulace nemění v závislosti na koncentraci přidaného elektrolytu a hodnota zeta–potenciálu je nulová (izoelektrický bod). Anorganické elektrolyty mají vliv na probíhající koagulaci snížením elektrokinetického potenciálu a zmenšením elektrické dvojvrstvy [12].

Chemické a fyzikálně chemické procesy se při čiření vody uplatňují při řízení koagulačního procesu. Prakticky jde o dávkování železitých nebo hlinitých solí do upravované vody. Po přidání těchto solí do vody dojde k jejich hydrolyze a k tvorbě kladně nabitého solu, které spolu se záporně nabitými částicemi nečistot koagulují a vytváří sraženiny, které lze z vody poměrně snadno odstranit. [13,14]



Vznikající polyhydroxykomplexy plní funkci koloidu s opačným znaménkem povrchového náboje a nábojově neutralizují nečistoty přítomné v povrchové vodě. Sorpcí polyhydroxykomplexů na nečistoty ve vodě vznikají destabilizované primární částice. Jsou elektroneutrální, mají minimální až nulový zeta potenciál. Hydrolytické meziprodukty nesou kladný povrchový náboj pouze v kyselé oblasti pH. Nejúčinnější koagulace probíhá v kyselé oblasti Běžná vodárenská koagulace se vždy provádí v kyselé oblasti. [13,14]



Obrázek 7 Průběh závislosti (a) elektrického potenciálu, (b) rychlosti koagulace na koncentraci koagulujícího elektrolytu [15]

2.6.1 Faktory ovlivňující koagulaci

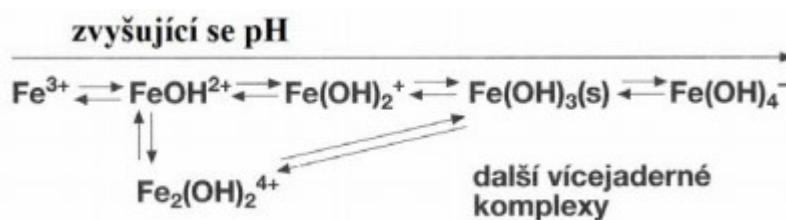
Rychlost koagulace je závislá na hodnotě pH, teplotě, iontové síle, oxidačně-redukčním potenciálu vody a koncentraci separovaných částic. Doporučuje se sledovat nábojové poměry (potenciál zeta, koloidní titrace, kolorimetrické měření náboje) a filtrační vlastnosti vytvořených suspenzí, tzn. doba filtrace vzorku suspenze [1].

Klíčové faktory koagulace jsou optimální dávka koagulantu a optimální pH [16]

Vliv pH

Nejvýznamnější faktor, který nejvýrazněji ovlivňuje proces koagulace je hodnota pH. Má velký vliv na velikost, znaménko povrchového náboje znečišťujících příměsí a také na průběh hydrolyzy destabilizačních činidel [17].

Pro hlinité koagulanty je ideální hodnota pH mezi 5,2 - 6 a pro železité koagulanty je ideální hodnota pH v oblasti 4,7 – 5,8. U hlinitých koagulantů je optimální pH 0,5 – 0,6 jednotek výše, vzhledem k vyšší rozpustnosti hliníku v kyselé i zásadité oblasti [17].



Obrázek 8 Závislost stupně hydrolyzy na pH [18]

Proces koagulace je účinnější, čím je nižší hodnota pH a také je vyšší odstranění organických látek. Zbytkový koagulant má v upravené vodě vyšší koncentraci. Hodnota pH musí být taková, aby došlo k požadovanému odstranění organických látek z vody a aby byly současně dodrženy limity pro zbytkový obsah koagulačního činidla. [17]

Vliv teploty

Dalším významným faktorem ovlivňující proces koagulace je teplota. S rostoucí teplotou dochází po nadávkování činidla k rychlejšímu průběhu hydrolytických reakcí. Teplota také ovlivňuje viskozitu vody. [8]

V zimních měsících způsobuje nízká teplota provozní problémy, kterými je zejména snížení separační účinnosti úpravny. Naopak ve vodních nádržích je nízká teplota velmi žádoucí, protože zpomaluje průběh biologického procesu. Nízká teplota při koagulaci má negativní vliv na vznik dobře sedimentovatelných vloček (vznikají menší částice, které se hůře sedimentují) a na zbytkové koncentrace koagulantu i na CHSK_{Mn} . Proto je velmi důležité provádět pečlivou optimalizaci chemických podmínek úpravny. Z hlediska chemismu procesu musí být vzhledem k teplotě vody nalezena optimální hodnota dávky koagulantu, koagulačního pH a nejvhodnější typ použitého koagulantu. [19, 20]

4.2.Flokulace

Je separační proces, kde v průběhu dochází k oddělení kapalně a tuhé fáze. Dochází k shlukování volných koloidů a vytvoření větších agregátů. Cílem flokulace je získat pomocí agregace takové částice, které se mohou odstranit dalšími separačními procesy, jako je sedimentace a filtrace. [21, 22]

Princip flokulace spočívá také ve shlukování částic a ve vytváření agregátů. Na rozdíl od koagulace však tento děj není závislý na elektrostatickém vybíjení suspenze. Flokulaci způsobuje přidání hydrofobních látek do suspenze za vzniku flokul (vloček).

Pomocí flokulace je možné odstranit rozpuštěné vysokomolekulární organické látky jejich zachycením do flokul. Flokulace je ovlivňována chemickými a fyzikálními podmínkami. Mezi chemické podmínky patří např. pH nebo dávka flokulantu. Mezi fyzikální podmínky patří teplota, doba flokulace, charakter míchání a další. K rychlejší tvorbě a růstu flokul (vloček) dochází se zvyšující se intenzitou míchání. Při intenzivním míchání dochází vlivem smykových sil k rozbíjení vloček, čímž se snižuje účinnost flokulace. Účinnost flokulace by se musela vyrovnávat zvyšováním dávky flokulantu, což by bylo nákladné a neekonomické. Proces musí probíhat dostatečně rychle, účinně a při minimálních nákladech. Flokulace funguje při optimálním množství flokulantu, který se adsorbuje jen na část povrchu zrn, ale při velkém množství flokulantu se stabilita suspenzí zvyšuje. [21, 22]

5. Koagulanty v technologii vody

Přidáním koagulačních a pomocných agregačních činidel do vody dochází k destabilizaci a následné agregaci nečistot.

Koagulant je chemická látka, která se dávkuje, kde jejich částice mohou koagulovat. Obvykle se jedná o soli kovů. Polymery mohou být také použity jako srážecí činidla, ale jsou stále častěji používány při flokulaci než při koagulaci. Když je polymer použit k posílení nebo k zvětšení vločky vytvořené koagulace je obvykle nazýván jako pomocný koagulant. Hliníkové soli jsou nejčastěji používané koagulanty. S úpravou dávkování a srážení pH může být použito k léčbě většiny vody. Soli železa jsou podobně flexibilní [23]

Volba vhodného druhu koagulantu závisí na upravované vodě, použitém technologickém postupu a na požadované jakosti upravované vody. Při jednostupňové úpravě se většinou používá hlinitých koagulantů (síran hlinitý) z důvodu menšího průniku koagulantu a menší spotřebě energie na přípravu separovatelných vloček. Pro úpravu vod s velkou koncentrací huminových látek lze doporučit použití hlinitanu nebo částečně zhydrolyzovaného hlinitého koagulantu, tj. polyaluminiumchloridu. Při úpravě vod s větším obsahem solí jsou účinnější železité koagulanty [14, 24].

Železitým a hlinitým solím se dává přednost díky jejich schopnosti jako koagulantů, ale také vzhledem ke snížení nákladů v procesu. Účinnost chemických látek vychází ze schopnosti formovat různě nabitě vícejaderné komplexy v roztoku s lepšími adsorpčními schopnostmi. [22]

Síran hlinitý $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ je ve vodě rozpustná anorganická sloučenina neboli hlinitá sůl kyseliny sírové. Síran hlinitý je obvykle používán jako koagulační činidlo pro úpravu pitné vody a čištění odpadní vody [24].

Síran hlinitý je tvořen celou řadou hydrátů, mezi nejčastějšími patří tetradekahydrát ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$), hexadekahydrát ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$) a oktadekahydrát ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) [22, 23].

Síran hlinitý patří mezi nejpoužívanější koagulant pro úpravu vody. Produkt síranu hlinitého obsahuje až 4 % volné kyseliny sírové. Síran hlinitý je agresivní ke kovům a betonu, proto musí být skladován v nádržích s ochrannými povlaky [5]

Hlinitan sodný je většinou používán v alkalických reakcích, často v kombinaci právě se síranem hlinitým [5].

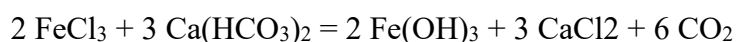
Síran železitý je dalším používaným koagulátem. Tento koagulant je dostupný v pevné nebo v kapalně formě. V pevné formě je materiál zrnitý a sypký s následujícími specifikacemi: 70-75 % $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ a 20-21 % Fe^{3+} . V kapalně formě je typická specifikace jsou 40-42 % $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ a 11.5 % Fe^{3+} . Všechny železité koagulanty se používají v širokém rozmezí pH od 4.0 do 11.0. Síran železitý je užitečný při použití k odstranění barvy při nízkých hodnotách pH, a také při vysoké hodnotě pH, kde se používá k odstranění železa a manganu, a také v procesu změkčování [22].

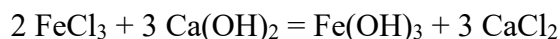
$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ je dodáván v roztoku pod názvem Prefloc. Roztok síranu železitého, cca 40 %. Výroba pomocí oxidace síranu železnatého, jako odpadního produktu při výrobě titanové běloby, na síran železitý chlorečnanem sodným. Síran železitý je také dodáván v roztoku pod názvem Feripres. Roztok síranu železitého, cca 40 %. Oxidace je prováděna vzdušným kyslíkem za vysokých teplot a tlaků [17]

Chlorid železitý se v dnešní době obvykle se nepoužívá a v ČR se nevyrábí. Chlorid železitý je dodáván jako 40 % silně korozivní roztok. [5]

Tento koagulant je komerčně dostupný v kapalně, krystalické nebo bezvodé formě. Nejčastější se vyskytuje v kapalně formě. V kapalně a krystalické formě se jedná o silně korozivní látku, a proto s ní musí být zacházeno podobným způsobem jako s kyselinou chlorovodíkovou [22, 23].

Reakce chloridu železitého probíhá v alkalickém nebo v neutrálním pH podle rovnic [22]:





Polymery jsou přírodní popř. syntetické makromolekulární látky. V procesu úpravy vody jsou využívány jako pomocná agregační činidla ve formě kationtových, aniontových, amfolytických nebo neiontových polyelektrolytů tvořící ionizovatelnou skupinu polymerů. Díky disociaci jsou rozpustné ve vodě. Mezi přírodní polymery se řadí škrob, tanin, chitosan, aj., jejichž nejlepší vlastností je téměř nulová toxicita a zásah do životního prostředí. Syntetické polymery jsou k použití mnohem účinnější [25].

Jako předpolymerované koagulanty flokor známe chlorid-hydroxid hlinitý a polychlorid-síran hlinitý, které jsou částečně hydrolyzovaná koagulační činidla s vysokým stupněm polymerizace. Tyto předpolymerované koagulanty se využívají jako pomocná agregační činidla, čímž zvyšují účinnost a snižují spotřebu koagulantu [26].

Koagulanty řady FLOKOR patří do skupiny chemických sloučenin s chemickým názvem chlorid-hydroxid hlinitý (chlorid-pentahydroxid dihlinitý) a polychlorid-síran hlinitý (chlorid-hydroxid-síran hlinitý). Koagulanty FLOKOR definujeme jako částečně hydrolyzované koagulanty. Základním prvkem, který odlišuje koagulanty částečně hydrolyzované od tradičních koagulačních činidel, je přítomnost hliníku ve formě polymerů s vázanými skupinami OH. Koagulant Flokor je vodní roztok komplexního chloridu-hydroxidu hlinitého.

Technologie, které jsou založené na využití vysoce neutralizovaných polymerů FLOKOR, jsou finančně výhodné jak díky dosahovaným výsledkům, tak s ohledem na ekonomické požadavky. Dochází ke snížení objemu kalů po koagulaci, což ovlivňuje ekonomiku hospodaření s kaly. Dochází tak ke snížení nákladů na dopravu i skladování koagulantů a následně i ke snížení nákladů na energie a potřebu práce při realizaci používaných technologií [27]

Koagulanty FLOKOR jsou používány při úpravě pitné vody, zásobování pitnou vodou, při úpravě bazénových vod, v procesech čištění průmyslových a komunálních odpadních vod.

Koagulanty FLOKOR a jejich výhody[28]:

- použití pro vodné roztoky,
- přípravky jsou bezpečné, nevyžadují se zvláštních postupy, s výhradou ADR,
- získání maximální snížení nečistot ve vodě nebo odpadní vody s využitím minimální dávky
- koagulační přípravky FLOKOR umožňují rychlou sedimentaci nebo flotace sedimentu,
- nesníží svou činnost v podmínkách nízkých teplot,
- malé množství sedimentu po koagulaci,
- není zde výskytu zbytkového hliníku v upravené vodě,
- konečný výrobek podléhá přísné kontrole kvality, prováděné laboratorních

Koagulant Flokor se používá pro:

- čištění průmyslových a komunálních vod
- úpravy průmyslových a technologických vod
- úpravy pro energetiku
- úpravy bazénových vod
- úpravy pitné vody
- produkce papíru a vody
- procesů kosmetického průmyslu

Skladování a forma dávky:

Výrobek je skladován a přepravován v nádržích z polyethylenu nebo polypropylenu plastu, nerezové oceli nebo uhlíkové oceli s izolací proti korozi nebo chemické vrstvou a potahem odolávajícím. ADR-není regulováno [28].

Dávkování: Ve formě komerčních řešení. Ve zvláštních případech může být opatření ředit.

6. Laboratorní testy na reálných vzorcích vod

Cílem experimentální části diplomové práce bylo otestovat koagulanty řady FLOKOR polské firmy DEMPOL-ECO a stanovit optimální dávky těchto koagulantů ve srovnání s běžně používaným koagulantem síranu hlinitého. Testy byly prováděny na reálných vzorcích vod poskytnuté společností SmVaK Ostrava a.s.

6.1. Charakteristika použitých vzorků vod

6.2. Použité koagulanty

V rámci experimentální práce byly použity dvě skupiny koagulantů. První skupinou byl síran hlinitý $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$, který se běžně používá při úpravě vod na ÚV Podhradí. Pro testy byl použit vodný roztok síranu hlinitého o koncentraci 0,1 %. Další skupinou koagulantů byly koagulanty typu FLOKOR, které byly k otestování poskytnuty firmou DempolEco. Bližší specifikace koagulantů typu FLOKOR jsou uvedeny v následujících tabulkách.

Tabulka 4 Fyzikální a chemické vlastnosti koagulantu Flokor 1S

FLOKOR 1S	Chemické složení	
	pH	min. 3,20
	Hliník Al %	min. 11,00
	Cl ⁻ %	max. 13,00
	Fyzikální vlastnosti	
	Skupenství	vodný roztok, světle šedý-barevný
	Zápach	bez zápachu
	Hustota (20°C)	1,300 g/cm ³

Tabulka 5 Fyzikální a chemické vlastnosti koagulantu Flokor 1,2 A

FLOKOR 1,2A	Chemické složení	
	pH	min. 4,20
	Hliník Al %	min. 11,00
	Al ₂ O ₃ %	min. 20,79
	Cl ⁻ %	max. 7,00
	Bazicita	min. 80,00
	$\frac{OH}{Al}$	min. 2,40
	Fyzikální vlastnosti	
	Skupenství	vodný roztok, světle šedý-barevný
	Zápach	bez zápachu
	Hustota (20°C)	min. 1,280 g/cm ³
	Dynamická viskozita (20°C)	min. 115 mPas
	Bod tuhnutí	-5 °C
	Bod varu	105 °C

Tabulka 6 Fyzikální a chemické vlastnosti koagulantu Flokor D15

FLOKOR D15	Chemické složení	
	pH	min. 3,50
	Hliník Al %	min. 6,00
	Al ₂ O ₃ %	min. 11,34
	Cl ⁻ %	max. 6,00
	Bazicita	min. 70,00
	$\frac{OH}{Al}$	min. 2,40
	Fyzikální vlastnosti	
	Skupenství	vodný roztok, světle šedý-barevný
	Zápach	bez zápachu
	Hustota (20°C)	1,200 g/cm ³
	Bod tuhnutí	-15 °C
	Bod varu	105 °C

Tabulka 7 Fyzikální a chemické vlastnosti koagulantu Flokor DM17H

FLOKOR DM17H	Chemické složení	
	pH	min. 3,100
	Hliník Al %	min. 8,50
	Al ₂ O ₃ %	min. 16,06
	Cl ⁻ %	max. 9,50
	Bazicita	min. 70,00
	$\frac{OH}{Al}$	min. 1,95
	Fyzikální vlastnosti	
	Skupenství	vodný roztok, světle šedý-barevný
	Zápach	bez zápachu
	Hustota (20°C)	1,275 g/cm ³
	Bod tuhnutí	-22 °C
	Bod varu	105 °C

6.3. Metodika analýz a použité přístroje

V období prosinec 2016 – březen 2017, byl pracovníky SmVaK a.s. Ostrava odebrán vzorek surové vody úpravny vod v Podhradí, který byl následně převezen do laboratoří Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, kde byly prováděny testy procesu čiření. Pomocí sklenicových testů koagulace a flokulace, bylo možné stanovovat optimální dávku koagulačního činidla. V průběhu testů byla prováděna analýza ukazatelů kvality pitné vody.

Hlavní použité přístroje v laboratořích:

- míchací kolona,
- multimetr - pH/Cond 430i/,
- spektrofotometr
- zetametry - Zetasizer Nano ZS.

V této kapitole jsou shrnuty základní postupy provedených analýz – neutralizační kapacita, koncentrace Al³⁺, Cl⁻, SO₄²⁻. Chemické analýzy byly provedeny v laboratořích

Institutu environmentálního inženýrství dle metodických postupů laboratoře technologie a hospodaření s vodou.

Metoda stanovení $KNK_{4,5}$

- do titrační baňky odpipetováno 100 ml vzorku
- přidány 3 kapky směsného indikátoru
- roztok titrován HCl o koncentraci 0,1 mol/l z modré barvy do šedé
- stejným způsobem provedeno stanovení slepého vzorku s destilovanou vodou
- pro hodnoty $KNK_{4,5}$ použit výpočet

$$KNK_{4,5} = \frac{C_{(HCl)} \cdot (V_t - V_{sl}) \cdot 10^3}{V_{vz}} \quad [\text{mmol/l}]$$

$C_{(HCl)}$ je koncentrace odměrného roztoku HCl (0,1 mol/l)

V_t je spotřeba odměrného roztoku HCl na titraci vzorku v ml

V_{sl} je spotřeba odměrného roztoku HCl na titraci slepého stanovení v ml

V_{vz} je objem vzorku použitý pro stanovení v ml

Metoda stanovení hlinitých iontů absorpční spektrofotometrií

- do odměrných baněk o objemu 25 ml odměřeno 20 ml vzorku
- přidán 1 ml redukčního roztoku
- po 5-10 minutách přidán 1 ml eirochromcyaninu R a 1 ml tlumivého roztoku
- po důkladném promíchání baňka se vzorkem doplněna destilovanou vodou
- stejným způsobem připraven slepý vzorek s destilovanou vodou
- po 30 až 60 minutách změřena absorbance
- absorbance zbarveného roztoku měřena pomocí spektrofotometru při vlnové délce 535 nm v kyvetě 2 cm

V rámci metody pro stanovení hlinitých iontů bylo vzorků po přidání všech reagentů max. pH = 4.

Metoda stanovení $CHSK_{Mn}$

- do titračních baněk bylo vloženo několik skleněných korálků.

- odpipetováno 100 ml vzorku
- přidáno 5 ml H_2SO_4 (0,002 mol/l) a 20 ml odměrného roztoku KMnO_4 (0,002 mol/l)
- důkladné promíchání
- 5 minut do varu, 10 minut var.
- do vzorku přidáno 20 ml $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ (0,005 mol/l)
- odbarvený roztok následně titrován KMnO_4 (0,002 mol/l) do slabě růžového zbarvení
- stejným způsobem provedeno slepé stanovení se 100 ml destilované vody
- pro CHSK_{Mn} pužit výpočet.

$$\text{CHSK}_{\text{Mn}} = \frac{C_{(\text{KMnO}_4)} \cdot (V_t - V_{sl}) \cdot f_t \cdot A_o \cdot 10^3}{V_{\text{vz}}} \quad [\text{mg/l}]$$

$C_{(\text{KMnO}_4)}$ je koncentrace odměrného roztoku KMnO_4 (0,002 mol/l),

V_t je spotřeba odměrného roztoku KMnO_4 na titraci vzorku v ml,

V_{sl} je spotřeba odměrného roztoku KMnO_4 na titraci slepého stanovení v ml,

V_{vz} je objem vzorku použitý pro stanovení v ml,

f_t je titrační přepočítávací faktor (2,5),

A_o je atomární hmotnost kyslíku (16 g/mol).

Metoda stanovení chloridů

- do titrační baňky bylo odpipetováno 100 ml vzorků
- ke vzorku přidán 1 ml roztoku K_2CrO_4 .
- vzorek následně titrován odměrným roztokem AgNO_3 do světle žluté až do oranžovohnědé (cibulové)
- stejně provedeno slepé stanovení se 100 ml destilované vody

$$C_{(\text{Cl})} = \frac{C_{(\text{AgNO}_3)} \cdot (V_t - V_{sl}) \cdot f_t \cdot 10^3}{V_{\text{vz}}} \quad [\text{mmol/l}]$$

$C_{(\text{AgNO}_3)}$ je koncentrace odměrného roztoku AgNO_3 (0,05 mol/l),

V_t je spotřeba odměrného roztoku AgNO_3 na titraci vzorku v ml,

V_{sl} je spotřeba odměrného roztoku AgNO_3 na titraci slepého stanovení v ml,

V_{vz} je objem vzorku použitý pro stanovení v ml,

f_t je titrační přepočítávací faktor pro argentometrické stanovení roztoků.

$$C_{m(\text{Cl})} = C_{(\text{Cl})} \cdot M_{\text{Cl}} \text{ [mg/l]} \quad M_{\text{Mg}} = 35,453 \text{ g/mol}$$

Metoda stanovení zákalu

- při vlnové délce 560 nm změřena adsorbance na spektrofotometru HACH LANGE DR 2800
- použita 5 cm kyveta.

Metoda stanovení síranů

Pro stanovení síranů byla zvolena předdefinovaná metoda firmy HACH LANGE s použitím spektrofotometru HACH LANGE DR 2800. Do skleněné hranaté kyvety bylo přidáno 25 ml neředěného nebo ředěného vzorku. Poté do kyvety byl přidán 1 sáček reagensí pro stanovení síranů (SulfaVer 4). Kyvetu byla uzavřena pomocí teflonové fólie a po protřepání bylo možné měřit za 3 minuty na spektrofotometru. Spektrofotometr byl před samotným měřením vynulován na destilovanou vodu.

Měření zeta potenciálu

Měření zeta potenciálu probíhalo v laboratořích Institutu čistých technologií, s použitím přístroje Zetasizer Nano ZS firmy Malvern, založený na optické metodě rozptylu laserového paprsku [29].

6.4. Metodika testů

Samotný koagulační pokus byl proveden formou sklenicových testů v předem označených nádobách, které byly dle počtu zkoumaných dávek koagulantu rozděleny na jednotlivé pozice míchací kolony. Každá míchací kolona je opatřena míchadlem. Do reakčních nádob bylo nadávkováno odstupňované množství koagulačního činidla $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$, Flokor 1,2A, Flokor 1S, Flokor D15 a Flokor DM17H. Na míchací koloně bylo nastaveno 250 ot/min, jednotlivé dávky byly smíchány s množstvím vzorku surové vody o objemu 1 l v co nejkratší době, většinou do 1 min (fáze rychlého míchání). Rychlé míchání bylo nastaveno na rychlost 250 ot./min po dobu 5 min. Během rychlého míchání proběhne perikinetická koagulace. Fáze pomalého míchání byla nastavena na 5 ot./min po dobu 20 min. Ve fázi pomalého míchání dojde k ortokinetické koagulaci za tvorby makrovloček. Ihned po vypnutí míchací kolony se odebraly vzorky pro změření zákalu. Po dokončení flokulace se vzorky nechaly 30 minut sedimentovat a poté byla provedena filtrace. Jako filtrační papír byl zvolen typ KA3, rychlost filtrace – vysoká. Ve filtrátu byly poté stanoveny vybrané ukazatele jakosti.

Stejně probíhaly testy při teplotě 4°C s tím rozdílem, že míchací zařízení bylo umístěno v lednici.

Mezi sledované parametry určující kvalitu vody patřily: teplota, pH a elektrická vodivost, CHSK_{Mn} , $\text{KNK}_{4,5}$, zákal, Al^{3+} , SO_4^{2-} a Cl^- .

6.4.1. Stanovení optimální dávky

Optimální dávka koagulantu je taková dávka, která dosáhne nejlepší jakosti upravené vody, tzn. nejnižší hodnotu zákalu, CHSK_{Mn} atd [10].

Optimální dávka je závislá na znečištění vody, tzn. čím je znečištění větší, tím větší musí být dávka koagulantu.

Pro testy bylo množství dávek stanoveno na 4-20 mg/l $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$. Množství dávky nad 20 mg/l je z hlediska provozních nákladů neekonomické. Proto se požaduje, aby dávka koagulantu byla co nejmenší.

Dávky koagulantů Flokor 1,2A, Flokor 1S, Flokor D15 a Flokor DM17H byly stanoveny tak, aby zhruba odpovídaly dávkám síranu hlinitého z pohledu koncentrace iontů Al^{3+} .

Optimální dávka koagulačního činidla se zjišťuje pomocí laboratorního míchacího zařízení se šesti až osmi míchacími místy, na které jsou umístěny jedno až dvoulitrové kádinky. Každé místo je opatřeno míchadlem. Tento pokus je nazýván tzv. sklenicový pokus, který se jednoduchým způsobem modeluje úprava vody koagulací za použití odstupňovaných dávek koagulačního činidla. Podle výsledků tohoto sklenicového pokusu se pak volí provozní dávka koagulačního činidla.

Pro odhad optimální dávky při koagulaci v kyselém prostředí se obvykle používá jednoduchý vzorec [4]:

$$D = 100 \cdot m$$

kde D je dávka koagulačního činidla $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ v mg/l

m je $\text{KNK}_{4,5}$ (u běžných přírodních vod) v mmol/l.

Tento odhad dávky koagulantu nelze považovat za optimální [4]

Základní dávku koagulantu lze také vypočítat dle vzorce:

Tento výpočet se používá u průmyslových vod nebo u silně znečištěných vod.

$$D = 8 \cdot \text{CHSKCr},$$

kde D je odhadovaná základní dávka koagulačního činidla [mg/l]

CHSKCr je chemická spotřeba kyslíku stanovena v surové vodě pomocí dichromanu draselného [mg/l].

Další způsob výpočtu, který se používá u čistých vod je následující:

$$D = A \cdot \text{CHSK}_{\text{Mn}}$$

kde A neempirický faktor koeficient (obvykle 4-20)

V této diplomové práci pro výpočet optimální dávky koagulačního činidla byl zvolen tento výpočet:

$$D = 100 \cdot m$$

7. Vyhodnocení laboratorních testů

7.1. Ověření dávky koagulantu dle chemismu

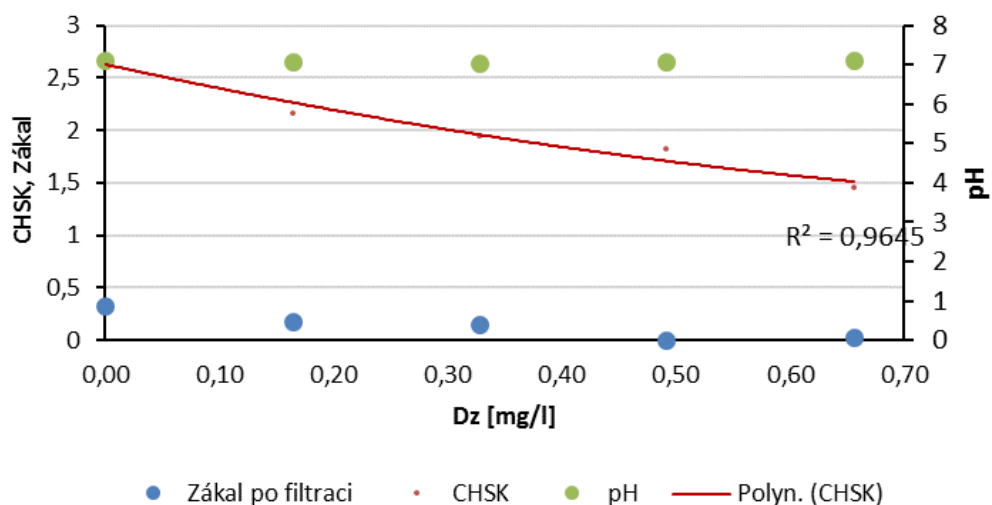
V průběhu několika měření byly zjišťovány a vyhodnocovány změny chemismu v závislosti na dávkách koagulantu síranu hlinitého a Flokoru v závislosti na jednotlivých procesech – míchání, filtrace, sedimentace. Měření probíhalo v období prosinec 2016 až březen 2017. Cílem vyhodnocení bylo stanovení optimální dávky síranu hlinitého a Flokoru v závislosti na ukazatelích kvality pitné vody – CHSK_{Mn}, zákal, hlinité ionty, pH, SO₄, chloridy. Bylo provedeno stanovení pro ověření optimální dávky v různém teplotním režimu a ověření optimální dávky dle zeta potenciálu.

7.1.1. Testy se síranem hlinitým

Při prvních laboratorních testech byla ověřována účinnost síranu hlinitého, jako 0,1% roztoku. Výsledky 1. testu jsou shrnuty v následující tabulce č.8. Pro přehlednější vyjádření výsledků je na obrázku (grafu) č.9. znázorněna závislost CHSK, pH a zákalu na dávce hlinitých iontů.

Tabulka 8 Výsledné hodnoty koagulačního činidla síranu hlinitého

vzorek	DAI ³⁺ (mg/l)	pH	K (μS/cm)	Zákal (NTU)	KNK _{4,5} (mmol/l)	CHSK _{Mn} (mg/l)	C(Al ³⁺) mg/l	SO ₄ (mg/l)
vstup	0,00	7,1	188	0,33	0,82	2,68	0,06	18
1	0,16	7,08	191	0,18	0,77	2,168	0,28	19
2	0,33	7,06	190	0,15	0,65	1,944	0,11	20
3	0,49	7,08	190	<0,03	0,62	1,824	0,09	23
4	0,66	7,12	190	0,03	0,6	1,456	0,14	25
Surová voda		7,12	186	0,97	0,84	2,2	<0,05	18



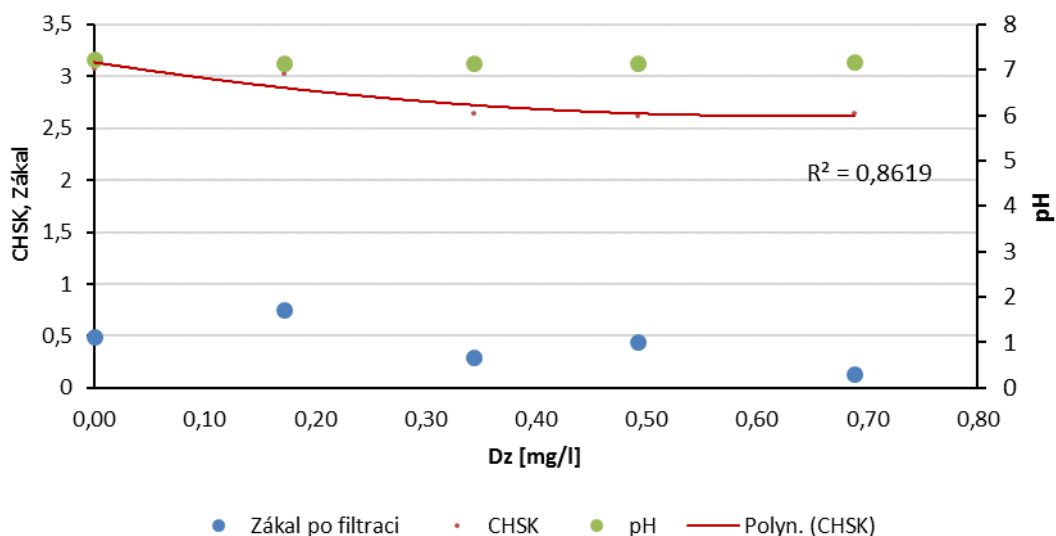
Obrázek 9 Graf závislosti CHSK, zákalu a pH na dávce síranu hlinitého

Jak je z výsledku patrné, nejvyšší účinnost byla dosažena při dávce 0,66 mg/l Al^{3+} (což odpovídá dávce 0,66 mg/l Al^{3+} 0,1 % roztoku síranu hlinitého). Tato dávka ovšem neodpovídá legislativnímu limitu pro pitné vody z pohledu zbytkové koncentrace Al^{3+} . Výsledné hodnoty Al^{3+} při prvním měření vyšli vyšší než u druhého měření, protože u prvního měření byli Al^{3+} stanoveny před filtrací, kdežto následující stanovení Al^{3+} bylo stanoven po následné filtraci. V průběhu měření se hodnoty pH pohybovaly v rozmezí 7,06 – 7,12, elektrická vodivost v rozmezí 186 – 191 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Výsledky 2. testu jsou shrnuty v následující tabulce č.9. Pro přehlednější vyjádření výsledků je na obrázku (grafu) č.10 znázorněna závislost CHSK, pH a zákalu na dávce hlinitých iontů.

Tabulka 9 Výsledné hodnoty koagulačního činidla síranu hlinitého

vzorek	DAI^{3+} (mg/l)	pH	K ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	zákal	KNK4,5 (mmol/l)	CHSKMn (mg/l)	$\text{C}(\text{Al}^{3+})$ mg/l	SO_4 (mg/l)
vstup	0,00	7,23	185	0,49	0,8	3,08	<0,05	18
1	0,17	7,15	188	0,75	0,7	3,024	<0,05	20
2	0,34	7,14	188	0,3	0,67	2,64	<0,05	21
3	0,52	7,15	187	0,44	0,67	2,616	<0,05	23
4	0,69	7,17	186	0,14	0,59	2,648	0,11	24
Surová voda		7,16	187	0,92	0,82	2,28		18



Obrázek 10 Graf závislosti CHSK, zákalu a pH na dávce síranu hlinitého

Jak je z výsledku patrné, nejvyšší účinnost byla dosažena při dávce 0,69 mg/l Al^{3+} (což odpovídá dávce 0,69 mg/l Al^{3+} 0,1 % roztoku síranu hlinitého). Při dávce 0,69 mg/l Al^{3+} byly naměřeny nejnižší hodnoty. Výsledné hodnoty Al^{3+} při druhém měření dosáhly lepších výsledků. V průběhu měření se hodnoty pH pohybovaly v rozmezí 7,14 – 7,23, elektrická vodivost v rozmezí 185 – 188 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

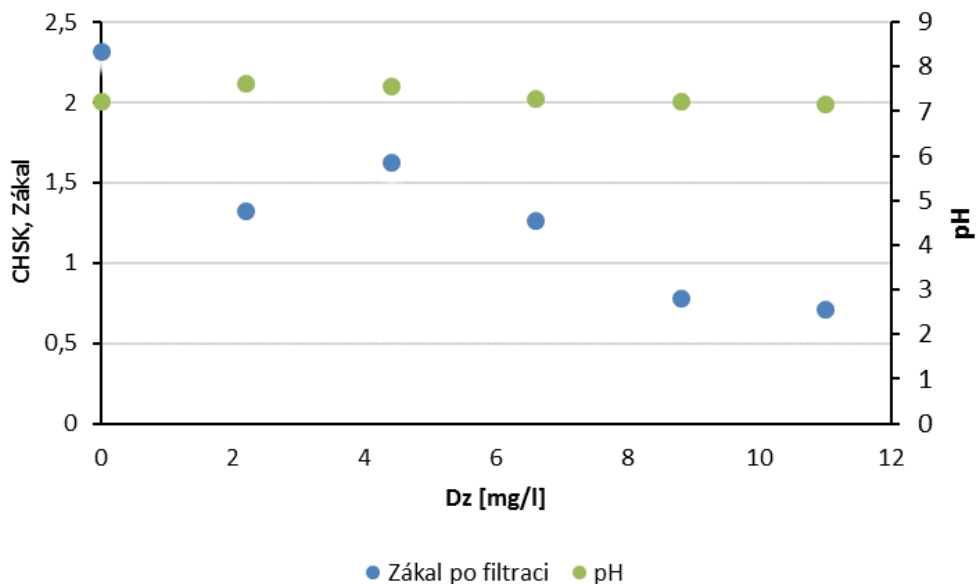
7.1.2. Testy FLOKOR 1,2A

Při následujících laboratorních testech byla ověřována účinnost Flokoru. Výsledky testu jsou shrnuty v následující tabulce č.10. Pro přehlednější vyjádření výsledků je na obrázku (grafu) č.9. znázorněna závislost CHSK, pH a zákalu na dávce hlinitých iontů.

Výsledky 1. testu jsou shrnuty v následující tabulce č.10. Pro přehlednější vyjádření výsledků je na obrázku (grafu) č.11 znázorněna závislost CHSK, pH a zákalu na dávce hlinitých iontů.

Tabulka 10 Výsledné hodnoty koagulačního činidla Flokor 1,2A

vzorek	DAI^{3+} (mg/l)	pH	$\kappa(\mu\text{S/cm})$	$\text{KNK}_{4,5}$ (mmol/l)	Zákal před filtrací (Z_{Ft})	zákal po filtraci (Z_{Ft})	$\text{C}_m(\text{Cl}^-)$	Al^{3+} (mg/l)
vstup	0,0	7,22	187	0,82	2,32	0,68	6,03	<0,05
1	2,2	7,65	189	0,79	1,33	0,19	7,62	<0,05
2	4,4	7,56	193	0,75	1,63	0,02	8,15	<0,05
3	6,6	7,29	192	0,73	1,27	0	10,10	<0,05
4	8,8	7,22	194	0,67	0,78	0,02	10,46	<0,05
5	11,0	7,18	199	0,62	0,71	0,33	12,41	<0,05



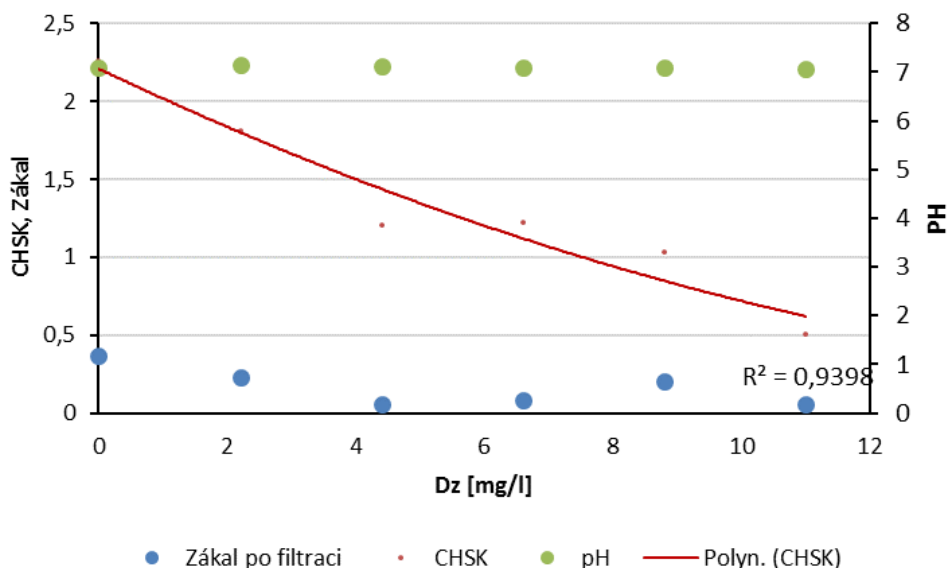
Obrázek 11 Graf závislosti CHSK, zákalu a pH na dávce Flokoru 1,2A

Jak je z výsledku patrné, nejvyšší účinnost byla dosažena při dávce 11 mg/l Al^{3+} . V prvním měření byl zákal měřen před filtrací a následně po filtraci. Z výsledků je patrné, že zákal po filtraci dosáhl lepších výsledků. Pro následující měření byl zákal měřen pouze po filtraci. V průběhu měření se hodnoty pH pohybovaly v rozmezí 7,18 – 7,65, elektrická vodivost v rozmezí 187 – 199 $\mu\text{S/cm}$.

Výsledky 2. testu jsou shrnuty v následující tabulce č.11. Pro přehlednější vyjádření výsledků je na obrázku (grafu) č.12 znázorněna závislost CHSK, pH a zákalu na dávce hlinitých iontů.

Tabulka 11 Výsledné hodnoty koagulačního činidla Flokor 1,2A

vzorek	DAI^{3+} (mg/l)	pH	K ($\mu\text{S/cm}$)	$\text{KNK}_{4,5}$ (mmol/l)	zákal (Z_{Fl})	$C_m(\text{Cl})$	Al^{3+} (mg/l)	CHSKMn (mg/l)
vstup	0,0	7,09	199	0,92	0,37	7,98	<0,05	2,264
1	2,2	7,14	201	0,86	0,23	7,45	<0,05	1,808
2	4,4	7,12	205	0,85	0,06	7,98	<0,05	1,208
3	6,6	7,1	206	0,84	0,08	10,64	<0,05	1,224
4	8,8	7,1	207	0,79	0,2	9,22	<0,05	1,032
5	11,0	7,08	208	0,75	0,06	11,70	0,2	0,504



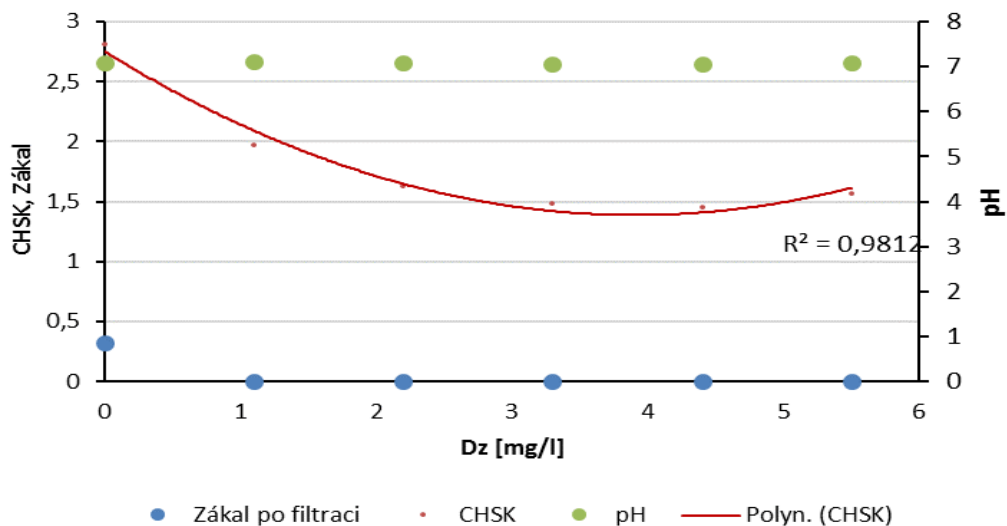
Obrázek 12 Graf závislosti CHSK, zákalu a pH na dávce Flokoru 1,2A

Jak je z výsledku patrné, nejvyšší účinnost byla dosažena při dávce 11 mg/l Al^{3+} . V druhém měření při dávce 11 mg/l Al^{3+} byla nejnižší hodnota CHSK 1,032 mg/l. Hodnoty Al^{3+} byli pod <0,05 mg/l. Hodnoty zákalu jsou vyhovující. V průběhu měření se hodnoty pH pohybovaly v rozmezí 7,08 – 7,14, elektrická vodivost v rozmezí 199 – 208 $\mu\text{S/cm}$.

Výsledky 3. testu jsou shrnuty v následující tabulce č.12. Pro přehlednější vyjádření výsledků je na obrázku (grafu) č.13 znázorněna závislost CHSK, pH a zákalu na dávce hlinitých iontů.

Tabulka 12 Výsledné hodnoty koagulačního činidla Flokor 1,2A

vzorek	DAl^{3+} (mg/l)	pH	$\kappa(\mu\text{S/cm})$	$\text{KNK}_{4,5}$ (mmol/l)	zákal (Z_{Ft})	$C_m(\text{Cl})$	$\text{Al}^{3+}(\text{mg/l})$	CHSKMn (mg/l)
vstup	0,0	7,09	199	0,92	0,32	7,98	<0,05	2,816
1	1,1	7,1	206	0,88	0	7,80	<0,05	1,976
2	2,2	7,09	207	0,84	0	8,69	<0,05	1,632
3	3,3	7,05	208	0,82	0	9,04	<0,05	1,48
4	4,4	7,06	209	0,80	0	10,28	<0,05	1,456
5	5,5	7,09	217	0,75	0	12,05	<0,05	1,568
Surová voda		7,17	222	0,98	0,04	8,33	0,2	2,752



Obrázek 13 Graf závislosti CHSK, zákalu a pH na dávce Flokoru 1,2A

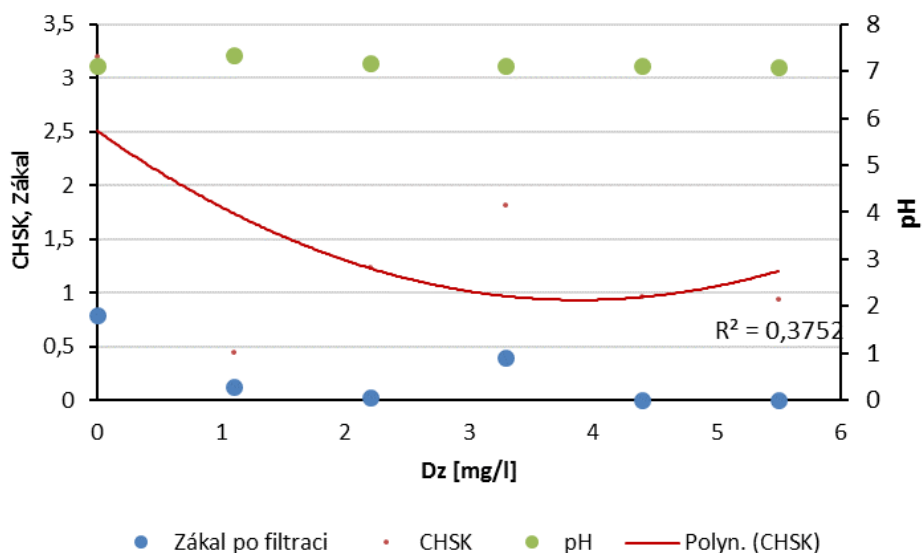
Jak je z výsledku patrné, nejvyšší účinnost byla dosažena při dávce 5,5 mg/l Al^{3+} . Ve třetím měření po filtraci byla naměřená 0 hodnota zákalu u všech dávek. Také hodnoty Al^{3+} nepřesáhly <0,05 mg/l. V průběhu měření se hodnoty pH pohybovaly v rozmezí 7,05 – 7,17, elektrická vodivost v rozmezí 199 – 222 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

7.1.3. Testy FLOKOR 1S

Výsledky 1. testu jsou shrnuty v následující tabulce č.13. Pro přehlednější vyjádření výsledků je na obrázku (grafu) č.14 znázorněna závislost CHSK, pH a zákalu na dávce hlinitých iontů.

Tabulka 13 Výsledné hodnoty koagulačního činidla Flokor 1S

vzorek	DAI^{3+} (mg/l)	pH	K ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	$\text{KNK}_{4,5}$ (mmol/l)	zákal (Z_{Ft})	$C_m(\text{Cl})$	Al^{3+} (mg/l)	CHSKMn (mg/l)	SO_4 (mg/l)
vstup	0,0	7,11	187	0,88	0,79	5,85	<0,05	3,2	19
1	1,1	7,34	195	0,71	0,13	9,93	<0,05	0,44	15
2	2,2	7,18	194	0,6	0,02	11,52	<0,05	1,24	14
3	3,3	7,11	196	0,56	0,4	12,76	<0,05	1,824	14
4	4,4	7,11	197	0,51	0	11,52	0,09	0,96	14
5	5,5	7,09	203	0,44	0	15,24	0,27	0,944	12



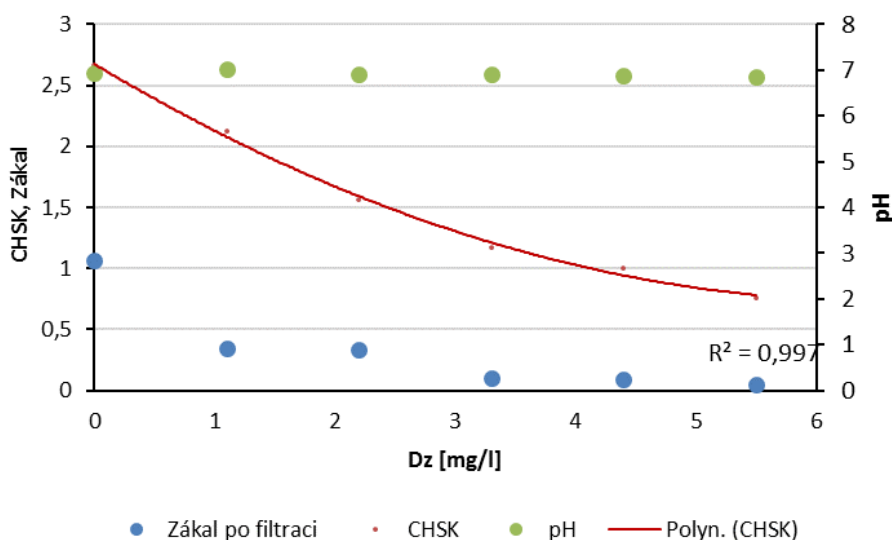
Obrázek 14 Graf závislosti CHSK, zákalu a pH na dávce Flokoru 1S

Jak je z výsledku patrné, nejvyšší účinnost byla dosažena při dávce 5,5 mg/l Al^{3+} . V průběhu měření se hodnoty pH pohybovaly v rozmezí 7,09 – 7,34, elektrická vodivost v rozmezí 187 – 203 $\mu\text{S/cm}$.

Výsledky 2. testu jsou shrnuty v následující tabulce č.14. Pro přehlednější vyjádření výsledků je na obrázku (grafu) č.15 znázorněna závislost CHSK, pH a zákalu na dávce hlinitých iontů.

Tabulka 14 Výsledné hodnoty koagulačního činidla Flokor 1S

vzorek	DAI^{3+} (mg/l)	pH	κ ($\mu\text{S/cm}$)	$\text{KNK}_{4,5}$ (mmol/l)	zákal (Z_{Ft})	$\text{C}_m(\text{Cl})$	Al^{3+} (mg/l)	CHSKMn (mg/l)	SO_4 (mg/l)
vstup	0,0	6,93	189	0,87	1,07	8,33	<0,05	2,664	19
1	1,1	7,02	196	0,61	0,35	12,23	<0,05	2,12	12
2	2,2	6,91	209	0,59	0,33	12,94	<0,05	1,56	9
3	3,3	6,9	203	0,52	0,1	14,00	0,06	1,176	10
4	4,4	6,88	206	0,49	0,09	15,78	<0,05	1	11
5	5,5	6,86	204	0,43	0,05	16,66	0,05	0,76	10



Obrázek 15 Graf závislosti CHSK, zákalu a pH na dávce Flokoru 1S

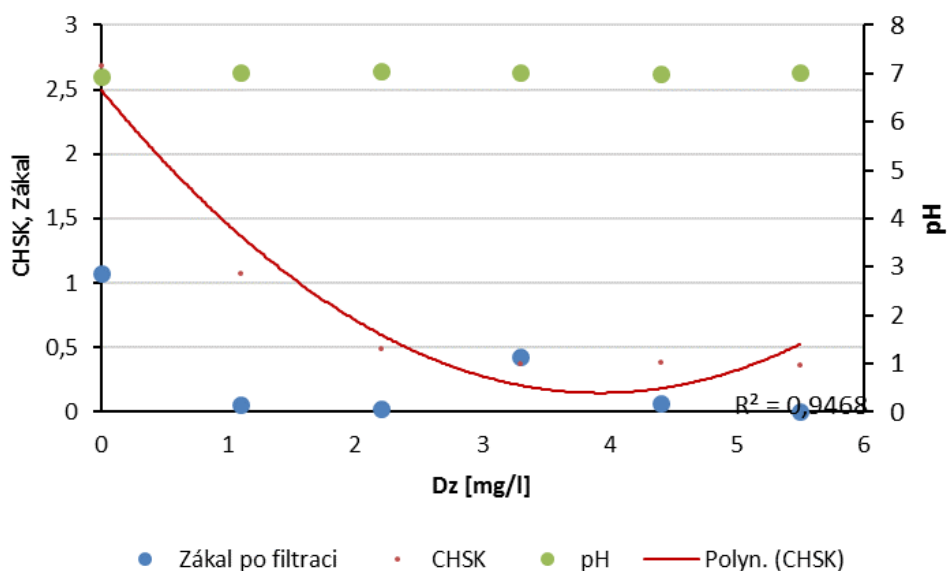
Jak je z výsledku patrné, nejvyšší účinnost byla dosažena při dávce 5,5 mg/l Al^{3+} , kde hodnota CHSK dosáhla nejnižší hodnoty 0,76 mg/l. Hodnoty Al^{3+} nepřesáhly <0,05

mg/l. Pouze u dávky 3,3 mg/l Al^{3+} byla naměřená hodnota 0,06 mg/l. V průběhu měření se hodnoty pH pohybovaly v rozmezí 7,05 – 7,17, elektrická vodivost v rozmezí 189 – 209 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Výsledky 3. testu jsou shrnuty v následující tabulce č.15. Pro přehlednější vyjádření výsledků je na obrázku (grafu) č.16 znázorněna závislost CHSK, pH a zákalu na dávce hlinitých iontů.

Tabulka 15 Výsledné hodnoty koagulačního činidla Flokor 1S

vzorek	DAl^{3+} (mg/l)	pH	$\kappa(\mu\text{S}/\text{cm})$	$\text{KNK}_{4,5}$ (mmol/l)	zákal (Z_{Ft})	$\text{C}_m(\text{Cl})$	Al^{3+} (mg/l)	CHSKMn (mg/l)	SO_4 (mg/l)
vstup	0,0	6,95	189	0,87	1,07	8,33	<0,05	2,688	19
1	1,1	7,01	192	0,67	0,06	11,70	<0,05	1,08	16
2	2,2	7,05	194	0,56	0,03	14,00	<0,05	0,488	10
3	3,3	7,01	200	0,53	0,43	14,54	<0,05	0,376	9
4	4,4	6,99	203	0,49	0,07	15,60	<0,05	0,384	9
5	5,5	7,02	195	0,47	0,01	15,07	<0,05	0,368	11



Obrázek 16 Graf závislosti CHSK, zákalu a pH na dávce Flokoru 1S

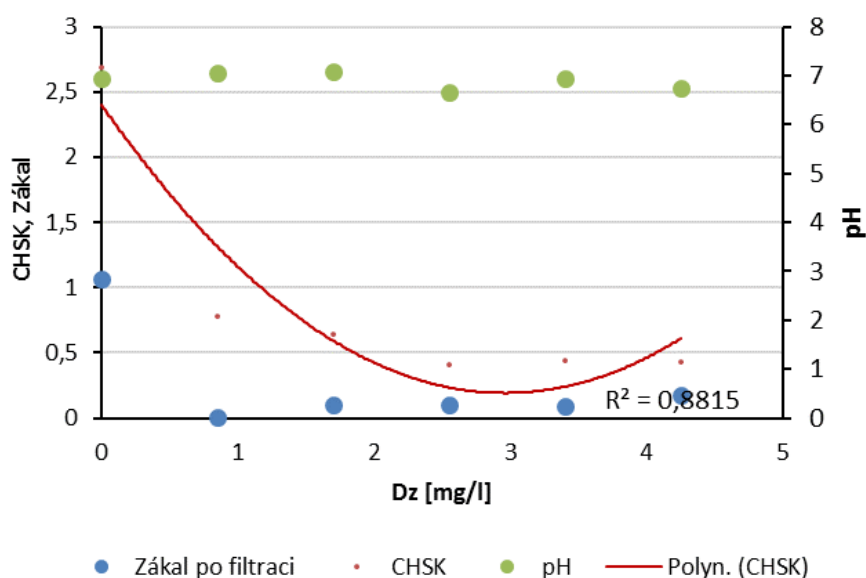
Jak je z výsledku patrné, nejvyšší účinnost byla dosažena při dávce 5,5 mg/l Al^{3+} , kde hodnota CHSK dosáhla nejnižší hodnoty 0,3698 mg/l. Ve třetím měření po filtraci byly naměřené vyhovující hodnoty zákalu u všech dávek. Také hodnoty Al^{3+} nepřesáhly <0,05 mg/l. V průběhu měření se hodnoty pH pohybovaly v rozmezí 7,05 – 7,17, elektrická vodivost v rozmezí 189 – 203 $\mu\text{S/cm}$.

7.1.4. Testy FLOKR DM17H

Výsledky 1. testu jsou shrnuty v následující tabulce č.16. Pro přehlednější vyjádření výsledků je na obrázku (grafu) č.17 znázorněna závislost CHSK, pH a zákalu na dávce hlinitých iontů.

Tabulka 16 Výsledné hodnoty koagulačního činidla Flokor DM17H

vzorek	DAI^{3+} (mg/l)	pH	$\kappa(\mu\text{S/cm})$	$\text{KNK}_{4,5}$ (mmol/l)	zákal (Z_{Fl})	$C_m(\text{Cl})$	Al^{3+} (mg/l)	CHSKMn (mg/l)	SO_4 (mg/l)
vstup	0,0	6,95	189	0,87	1,07	8,33	<0,05	2,688	19
1	0,85	7,06	221	0,67	0,01	10,64	<0,05	0,784	11
2	1,7	7,08	201	0,58	0,1	12,23	<0,05	0,64	13
3	2,55	6,67	208	0,56	0,1	14,00	<0,05	0,408	14
4	3,4	6,94	215	0,55	0,09	16,31	<0,05	0,44	13
5	4,25	6,74	221	0,5	0,18	18,44	<0,05	0,432	11



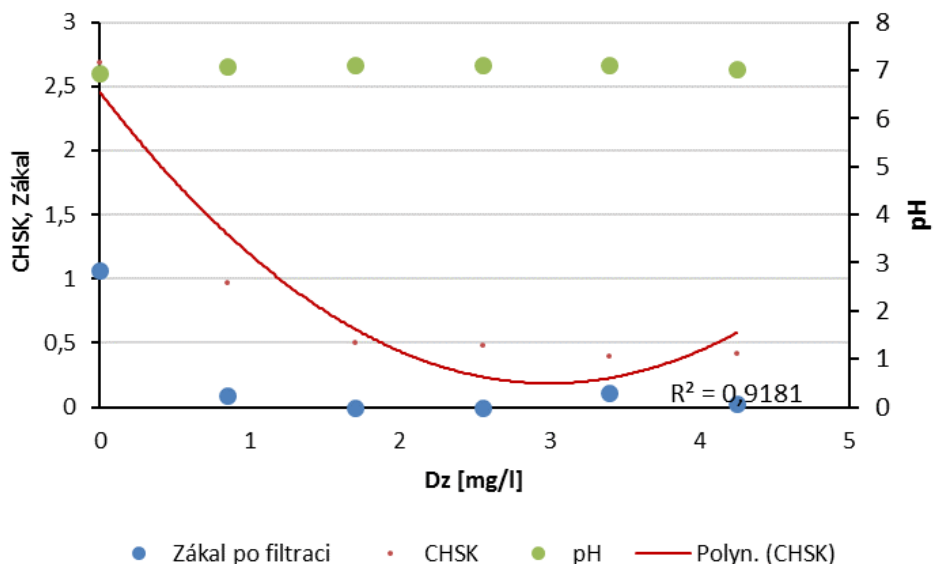
Obrázek 17 Graf závislosti CHSK, zákalu a pH na dávce Flokoru DM17H

Jak je z výsledku patrné, nejvyšší účinnost byla dosažena při dávce 4,25 mg/l Al^{3+} . V prvním měření po filtraci byly naměřené vyhovující hodnoty zákalu u všech dávek. Také hodnoty Al^{3+} nepřesáhly $<0,05$ mg/l. V průběhu měření se hodnoty pH pohybovaly v rozmezí 6,67 – 7,08, elektrická vodivost v rozmezí 189 – 221 $\mu\text{S/cm}$

Výsledky 2. testu jsou shrnuty v následující tabulce č.17. Pro přehlednější vyjádření výsledků je na obrázku (grafu) č.18 znázorněna závislost CHSK, pH a zákalu na dávce hlinitých iontů.

Tabulka 17 Výsledné hodnoty koagulačního činidla Flokor DM17H

vzorek	DAl^{3+} (mg/l)	pH	$\kappa(\mu\text{S/cm})$	$\text{KNK}_{4,5}$ (mmol/l)	zákal (Z_{Ft})	$C_m(\text{Cl})$	Al^{3+} (mg/l)	CHSKMn (mg/l)	SO_4 (mg/l)
vstup	0,0	6,95	189	0,87	1,07	8,33	$<0,05$	2,688	19
1	0,85	7,07	200	0,66	0,09	11,52	$<0,05$	0,968	13
2	1,7	7,12	204	0,61	0	13,29	$<0,05$	0,504	13
3	2,55	7,11	209	0,6	0	14,89	0,06	0,48	15
4	3,4	7,12	212	0,56	0,11	15,24	$<0,05$	0,4	13
5	4,25	7,04	219	0,54	0,03	16,31	$<0,05$	0,416	13



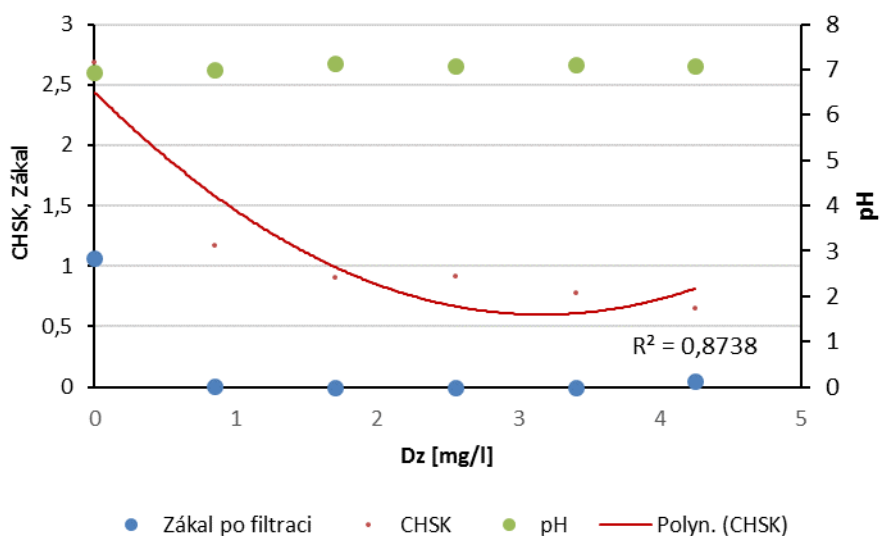
Obrázek 18 Graf závislosti CHSK, zákalu a pH na dávce Flokoru DM17H

Jak je z výsledku patrné, nejvyšší účinnost byla dosažena při dávce 4,25 mg/l Al^{3+} . V průběhu měření se hodnoty pH pohybovaly v rozmezí 6,95 – 7,12, elektrická vodivost v rozmezí 189 – 219 $\mu\text{S/cm}$.

Výsledky 3. testu jsou shrnuty v následující tabulce č.18. Pro přehlednější vyjádření výsledků je na obrázku (grafu) č.19 znázorněna závislost CHSK, pH a zákalu na dávce hlinitých iontů.

Tabulka 18 Výsledné hodnoty koagulačního činidla Flokor DM17H

vzorek	DAI^{3+} (mg/l)	pH	$\kappa(\mu\text{S/cm})$	$\text{KNK}_{4,5}$ (mmol/l)	zákal (Z_{Ft})	$C_m(\text{Cl})$	Al^{3+} (mg/l)	CHSKMn (mg/l)	SO_4 (mg/l)
vstup	0,0	6,95	189	0,87	1,07	8,33	<0,05	2,688	19
1	0,85	7	195	0,71	0,01	10,99	<0,05	1,168	16
2	1,7	7,13	198	0,64	0	11,70	<0,05	0,904	13
3	2,55	7,09	201	0,63	0	12,94	0,06	0,92	17
4	3,4	7,11	206	0,61	0	14,00	<0,05	0,776	15
5	4,25	7,09	214	0,58	0,05	15,42	0,06	0,648	14



Obrázek 19 Graf závislosti CHSK, zákalu a pH na dávce Flokoru DM17H

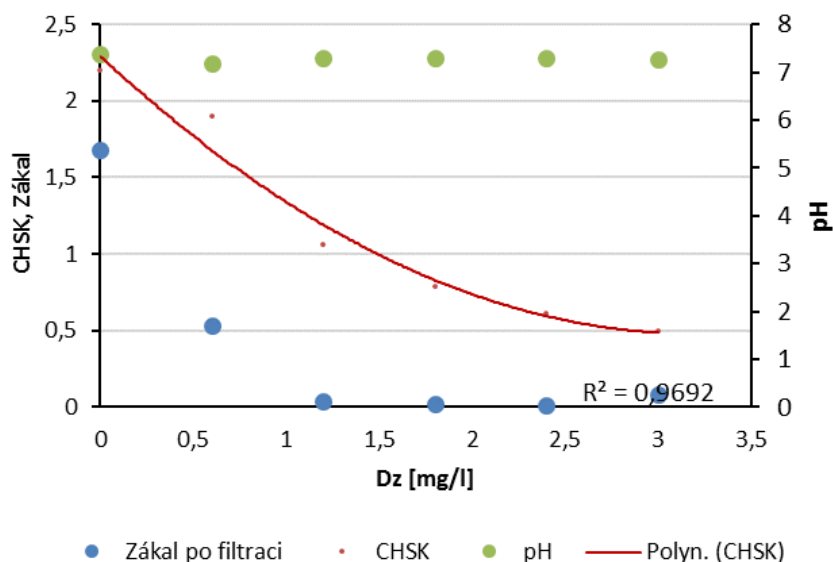
Jak je z výsledku patrné, nejvyšší účinnost byla dosažena při dávce 4,25 mg/l Al^{3+} . V průběhu měření se hodnoty pH pohybovaly v rozmezí 6,95 – 7,13, elektrická vodivost v rozmezí 189 – 214 $\mu\text{S/cm}$.

7.1.5. Testy FLOKOR D15

Výsledky 1. testu jsou shrnuty v následující tabulce č.19. Pro přehlednější vyjádření výsledků je na obrázku (grafu) č.20 znázorněna závislost CHSK, pH a zákalu na dávce hlinitých iontů.

Tabulka 19 Výsledné hodnoty koagulačního činidla Flokor D15

vzorek	DAI^{3+} (mg/l)	pH	$\kappa(\mu\text{S/cm})$	$\text{KNK}_{4,5}$ (mmol/l)	zákal (Z_{Ft})	$C_m(\text{Cl})$	Al^{3+} (mg/l)	CHSKMn (mg/l)	SO_4 (mg/l)
vstup	0,0	7,38	185	0,91	1,68	7,62	<0,05	2,2	17
1	0,6	7,2	192	0,73	0,53	12,23	0,18	1,904	16
2	1,2	7,31	204	0,71	0,04	12,41	0,28	1,064	13
3	1,8	7,3	198	0,69	0,02	12,76	<0,05	0,792	17
4	2,4	7,29	212	0,64	0,01	13,12	0,1	0,616	14
5	3	7,28	206	0,62	0,08	13,29	<0,05	0,496	12



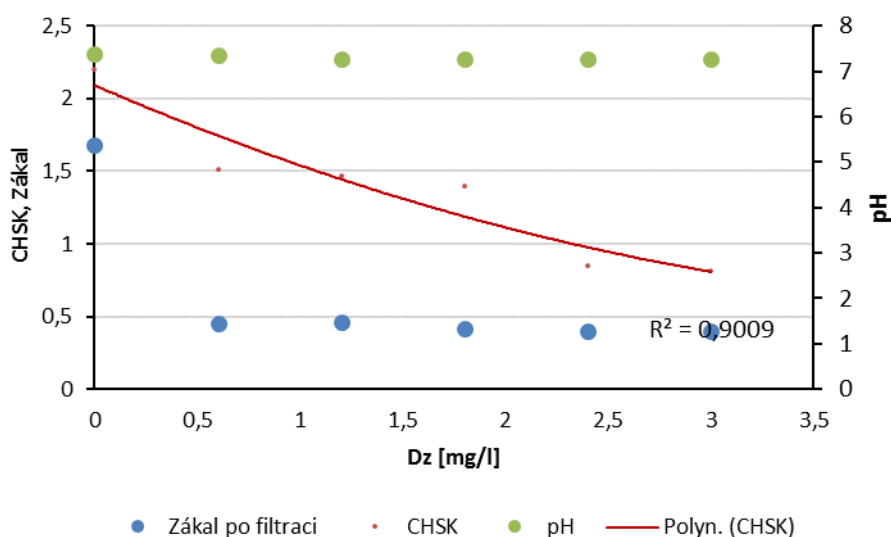
Obrázek 20 Graf závislosti CHSK, zákalu a pH na dávce Flokoru D15

Jak je z výsledku patrné, nejvyšší účinnost byla dosažena při dávce 3 mg/l Al^{3+} , kde hodnota CHSK dosáhla nejnižší hodnoty 0,496 mg/l. Při dávce 0,6 mg/l byla výsledná hodnota 0,18 mg/l a u dávce 1,2 mg/l byla hodnota 0,28 mg/l. V prvním měření není překročen nadlimitní obsah Al^{3+} , který je 0,30 mg/l. Hodnoty zákalu se projeví jako vyhovující. V průběhu měření se hodnoty pH pohybovaly v rozmezí 7,2 – 7,38, elektrická vodivost v rozmezí 185 – 212 $\mu\text{S/cm}$.

Výsledky 2. testu jsou shrnuty v následující tabulce č.20. Pro přehlednější vyjádření výsledků je na obrázku (grafu) č.21 znázorněna závislost CHSK, pH a zákalu na dávce hlinitých iontů.

Tabulka 20 Výsledné hodnoty koagulačního činidla Flokor D15

vzorek	DAI^{3+} (mg/l)	pH	$\kappa(\mu\text{S/cm})$	$\text{KNK}_{4,5}$ (mmol/l)	zákal (Z_{Ft})	$C_m(\text{Cl})$	Al^{3+} (mg/l)	CHSKMn (mg/l)	SO_4 (mg/l)
vstup	0,0	7,38	185	0,91	1,68	7,62	<0,05	2,2	17
1	0,6	7,34	195	0,74	0,45	10,64	<0,05	1,512	14
2	1,2	7,28	193	0,73	0,46	11,17	<0,05	1,472	15
3	1,8	7,26	200	0,7	0,42	11,70	<0,05	1,4	15
4	2,4	7,27	204	0,68	0,4	12,23	0,28	0,848	14
5	3	7,27	208	0,65	0,4	12,94	<0,05	0,818	13



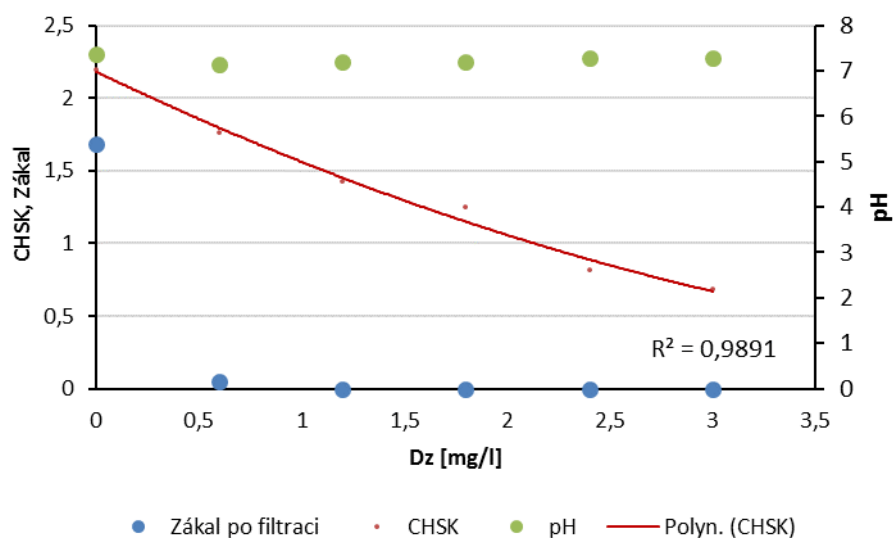
Obrázek 21 Graf závislosti CHSK, zákalu a pH na dávce Flokoru D15

Jak je z výsledku patrné, nejvyšší účinnost byla dosažena při dávce 3 mg/l Al^{3+} , kde hodnota CHSK dosáhla nejnižší hodnoty 0,818mg/l. Při dávce 2,4 mg/l byla výsledná hodnota 0,28 mg/l. V druhém měření není překročen nadlimitní obsah Al^{3+} , který je 0,30 mg/l. V průběhu měření se hodnoty pH pohybovaly v rozmezí 7,36 – 7,38, elektrická vodivost v rozmezí 185 – 208 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Výsledky 3. testu jsou shrnuty v následující tabulce č.21. Pro přehlednější vyjádření výsledků je na obrázku (grafu) č.22 znázorněna závislost CHSK, pH a zákalu na dávce hlinitých iontů.

Tabulka 21 Výsledné hodnoty koagulačního činidla Flokor D15

vzorek	DAI^{3+} (mg/l)	pH	$\kappa(\mu\text{S}/\text{cm})$	$\text{KNK}_{4,5}$ (mmol/l)	zákal (Z_{ft})	$C_m(\text{Cl})$	Al^{3+} (mg/l)	CHSKMn (mg/l)	SO_4 (mg/l)
vstup	0,0	7,38	185	0,91	1,68	7,62	<0,05	2,2	17
1	0,6	7,14	193	0,75	0,05	9,75	0,1	1,76	14
2	1,2	7,2	198	0,74	0	10,46	0,16	1,424	13
3	1,8	7,19	210	0,67	0	12,94	<0,05	1,248	13
4	2,4	7,27	216	0,65	0	15,24	0,1	0,816	12
5	3	7,28	214	0,62	0	15,78	<0,05	0,688	12



Obrázek 22 Graf závislosti CHSK, zákalu a pH na dávce Flokoru D15

Jak je z výsledku patrné, nejvyšší účinnost byla dosažena při dávce 3 mg/l Al^{3+} , kde hodnota CHSK dosáhla nejnižší hodnoty 0,688 mg/l. Nejvyšší hodnota Al^{3+} byla 0,16 mg/l při dávce 1,2 mg/l. Ve třetím měření není překročen nadlimitní obsah Al^{3+} , který je 0,30 mg/l. V průběhu měření se hodnoty pH pohybovaly v rozmezí 7,14 – 7,38, elektrická vodivost v rozmezí 185 – 216 $\mu\text{S/cm}$.

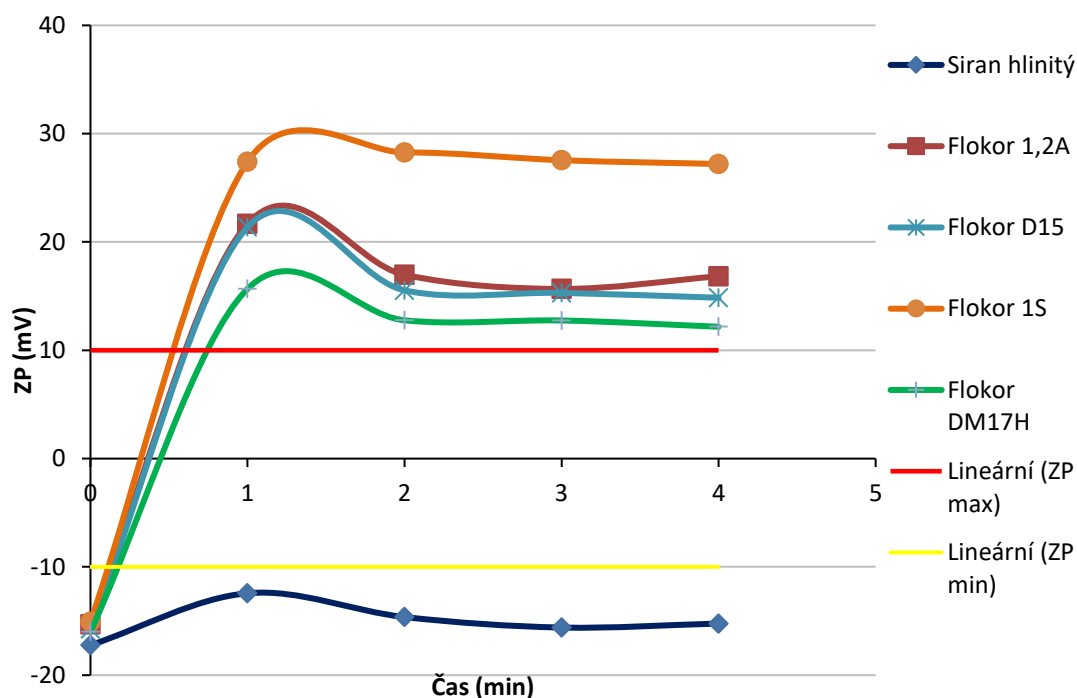
7.2.Ověření optimální dávky dle zeta potenciálu

U ZP jsou velmi důležité první 5 min po koagulaci, kdy je proces koagulace nejúčinnější. V průběhu nadávkování koagulantu a pomalého míchání. Při procesu pomalého míchání dochází k agregaci částic a následně je hodnota ZP ustálena.

Rozdíl je mezi hlinitými ionty, kde se uvolňují Al^{3+} ionty.

Síran – probíhá hydrolýza

Flokor – částečně hydrolyzovaný



Obrázek 23 Závislost Zeta potenciálu

ZP se netestoval pro všechny dávky, ale pouze pro optimální dávky dle chemismu. U Flokoru dochází k vyrovnání pH, ale u síranu dochází k okyselení a poměr OH iontu bude nižší. Hodnota pH u upravované vody se nemění. Vyhodnocení jde provést i podle hodnot mobility. Mobilita se definuje jako pohyblivost koagulačních částic.

Z grafu vyplývá, že nejméně účinné koagulační činidlo z hlediska ZP je síran hlinitý. Dostačující účinnost byla zjištěna u koagulačního činidla Flokor DM17H. Dostačující je i koagulační činidlo Flokor 1S, ale zde nedochází k velké agregaci a ZP je ustálen. Jako nejúčinnější koagulační činidla jsou Flokor D15 a Flokor 1,2A.

7.3.Ověření dávky při různém teplotním režimu

Při různém teplotním režimu se netestovaly všechny dávky, ale pouze optimální dávky. Laboratorní teplota byla 25 °C a provozní teplota byla 4 °C. Z výsledku je patrné, že vyšší účinnost síranu hlinitého je pouze při teplotě 25 °C. Pro koagulační činidlo Flokor nemá změna teploty výrazný vliv. Účinnost polského koagulantu je stejná jak pro vyšší, tak pro nižší teploty. Při dávce 0,49 mg/l síranu hlinitého byla účinnost 31,94 %. Při vyšší dávce 0,66 mg/l byla účinnost síranu hlinitého 45,67 %. Síran hlinitý u snížení teploty na 4 °C prakticky nefungoval. Při dávce 2,4 mg/l Flokor D15 byla účinnost 62,91 % a u dávky 3 mg/l byla účinnost 68,73 %. Flokor D15 při snížené teplotě byl více účinný při vyšší dávce 3 mg/l a to 40,36 %, kdežto u dávky 2,4 mg/l byla účinnost 26,91 %. Flokor DM17H měl při dávce 3,4 mg/l účinnost 85,13 % a u dávky 4,25 mg/l byla obdobná účinnost 84,54 %. Při nižší teplotě se Flokor DM17H projevil jako více účinnější než předchozího měření Flokor D15. Pro teplotu 4 °C byla u dávky 3,4 mg/l účinnost 61,04 % a u dávky 4,25 mg/l účinnost byla 69,96 %. Flokor 1S se projevil jako dobře účinný pro dávku 4,4 mg/l, kde byla jeho účinnost 85,72 %, u této dávky při teplotě 4 °C byla účinnost 74,72 %. Z výsledků je patrné, že vyšší účinnost u Flokoru je pouze u dávky 4,4 mg/l. Při zvýšení dávky na 5,5 mg/l byla účinnost 86,32 %, což je vyhovující, ale když se teplota u Flokoru 1S snížila na 4 °C, tak hodnota klesla pod < 2 % a neprojevil se jako dostatečně vyhovující. Jako nejlépe vyhovující byl Flokor 1,2A, kde při dávce 4,4 mg/l byla účinnost 48,37 % a u dávky 5,5 mg/l byla jeho účinnost 44,40 %. Na Flokor 1,2A změna teploty měla nejmenší vliv, kde hodnota

pro dávku 4,4 mg/l byla 37,30 % a u dávky 5,5 mg/l byla účinnost 25,67 %. Pro zlepšení procesů úpravy vody v zimním období jsou více účinnější koagulanty Flokor. Výsledky testů jsou shrnuty v následující tabulce č.22. Výsledky jsou uvedeny v %.

Tabulka 22 Účinnost koagulačních činidel

	Síran hlinitý		Flokor D15		Flokor DM17H		Flokor 1S		Flokor 1,2 A	
DAI ³⁺ (mg/l)	0,49	0,66	2,4	3	3,4	4,25	4,4	5,5	4,4	5,5
25 °C	31,94 %	45,67 %	62,91 %	68,73 %	85,13 %	84,54 %	85,72 %	86,32 %	48,37 %	44,40 %
4 °C	< 2 %	< 2 %	26,91 %	40,36 %	61,04 %	69,96 %	74,72 %	< 2 %	37,30 %	25,67 %

8. Závěr

Diplomová práce se zabývá zhodnocením využitelnosti předpolymerovaných koagulantů při úpravě vod. Jako první byl popsán proces koagulace z hlediska jeho chemické podstaty, stabilizace koloidů. Následně byl popsán proces koagulace a flokulace. Byly zde vyjmenovány a popsány koagulanty používané při čiření vody. Diplomová práce se dělí na část teoretickou a část praktickou.

Cílem diplomové práce bylo ověřit účinnost zvolených koagulantů při úpravě těchto vod. Koagulanty, které byly testovány byl síran hlinitý a koagulanty řady FLOKOR, které k testování poskytla firma DEMPOL_ECO. Pro testy byla použita surová voda z ÚV Podhradí, SmVaK Ostrava a.s..

Praktická část diplomové práce se zabývala v rámci chemických analýz a mechanických úprav řešena optimalizace procesu koagulace z hlediska chemismu s následným ověřením hodnotami zeta potenciálu.

Dle výsledků měření optimální dávky koagulantu dle chemismu bylo zjištěno, že nejméně vyhovující koagulant byl síran hlinitý. Z výsledku měření je patrné, že nejvyšší účinnost byla dosažena při dávce $0,66 \text{ mg/l Al}^{3+}$. Tato dávka ovšem neodpovídá legislativnímu limitu pro pitné vody z pohledu zbytkové koncentrace Al^{3+} . Také hodnoty zákalu byly vyšší oproti koagulantu Flokor, ale stále vyhovovaly limitu. Koagulanty Flokor z hlediska chemismu byly lépe vyhovují z hlediska chemismu oproti síranu hlinitého. Hodnoty všech stanovených ukazatelů nepřesáhly stanovené mezní limity.

Dle výsledků měření optimální dávky koagulantu při různém teplotním režimu bylo zjištěno, že pro koagulační činidlo Flokor nemá změna teploty výrazný vliv. Výsledné hodnoty účinnosti síranu hlinitého prokázaly, že při různém teplotním režimu se prokázal síran hlinitý jako nevyhovující koagulační činidlo. Laboratorní teplota byla 25°C a provozní teplota byla 4°C .

Dle výsledků měření optimální dávky dle zeta potenciálu bylo zjištěno, že nejméně účinné koagulační činidlo z hlediska ZP je síran hlinitý. Dostačující účinnost byla zjištěna u

koagulačního činidla Flokor DM17H. Dostačující je i koagulační činidlo Flokor 1S, ale zde nedochází k velké agregaci a ZP je ustálen. Jako nejúčinnější koagulační činidla jsou Flokor D15 a Flokor 1,2A.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY:

- [1] ŘÍHOVÁ AMBROŽOVÁ, Jana. *Příručka provozovatele úpravny pitné vody*. Vyd. 1. Líbeznice: Medim, 2005. ISBN 80-239-4565-3.
- [2] PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. 5. aktualizované a doplněné vydání. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2015. ISBN 978-80-7080-928-0.
- [3] KRÁLOVÁ Magda. *Brownův pohyb* [online]. Techmania science center [cit. 2017-04-19]. Dostupné z: <http://edu.techmania.cz/cs/veda-v-pozadi/597>
- [4] STRNADOVÁ, Nina a Václav JANDA. *Technologie vody I*. Vyd. 1. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická [Praha], 1995. ISBN 80-7080-226-X.
- [5] MALÝ, Josef a Jitka MALÁ. *Chemie a technologie vody*. 2. dopl. vyd. Brno: ARDEC, 2006. ISBN 80-860-2050-9.
- [6] BACHE, DAVID H. a ROSS GREGORY. *Water treatment: Principles and practices of water supply operations*. 3. London: IWA Pub, 2007. ISBN 9781843390633
- [7] PIVOKONSKÝ, Martin. *Úprava podzemních a povrchových vod: Interakce mezi částicemi, destabilizace, sklenicová zkouška - 2. přednáška*. Praha: Ústav pro životní prostředí, Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy. 2012. Dostupné také z: http://www.pivokonsky.wz.cz/UV/uprava_vod_2.pdf
- [8] PIVOKONSKÝ, Martin, Petra BUBÁKOVÁ, Lenka PIVOKONSKÁ a Bohuslav KNEŠL. *Tvorba suspenze při úpravě vody: Teorie a praxe*. Vyd. 1. Líbeznice: Medim, 2011. ISBN 978-80-87140-18-5
- [9] NOBBMANN, Ulf a Anastasia MORFESIS. *The Role of Zeta Potential in the Optimization of Water Treatment*. 3. City of Fort Collins: NSTI-Nanotech, 2010. ISBN 978-1-4398-3415-2
- [10] ŽÁČEK, Ladislav. *Chemické a technologické procesy úpravy vody*. Vyd. 1. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1981

- [11] BARTOVSKÁ, Ludmila a Marie ŠIŠKOVÁ. *Agregace*. Integrovaný systém elektronických studijních opor VŠCHT Praha [online]. Eva Dibuszová. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2005[cit. 2017-04-19]. Dostupné z: http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-001/hesla/agregace.html
- [12] TUČEK, Ferdinand, Jan CHUDOBA a Zdeněk KONÍČEK. *Základní procesy a výpočty v technologii vody*. 2. přeprac. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1988, 633 s.
- [13] ŽÁČEK, L.: *Otázky teorie čiření a stability povrchových vod*. Vodní hospodářství. 1962, č. 8, s. 331-335.
- [14] MALÝ, J., MALÁ, J.: *Chemie a technologie vody*. 1. vyd. Brno : NOEL 2000 s.r.o., 1996. 200 s. ISBN 80-86020-13-4.
- [15] BARTOVSKÁ, Ludmila a Marie ŠIŠKOVÁ. *Rychlá koagulace* Integrovaný systém elektronických studijních opor VŠCHT Praha [online]. Eva Dibuszová. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2005[cit. 2017-04-19]. Dostupné z: http://147.33.74.135/knihy/uid_es-001/hesla/rychla_koagulace.html
- [16] DOLEJŠ, P.: *Procesy úpravy pitné vody z povrchových zdroj obsahujících huminové látky - teorie a praxe*. VUT v Brně : VUTIUM, 2002. 39 s. Zkrácená verze habilitační práce.
- [17] STRNADOVÁ, N., JANDA, V.: *Technologie vody I*. 2. přeprac. vyd. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze : Vydavatelství VŠCHT, 1999. 226 s. ISBN 80-7080- 348-7.
- [18] DOLEJŠ, P.: *Příručka pro čištění a úpravu vody*. Přerov : Kemiflock, a.s., 1996. 133 s.
- [19] DOLEJŠ, P.: Vliv teploty na koagulaci při úprav huminových vod. In *Pitná voda z údolních nádrží 1995 : Optimalizace kvality surové vody a úprava pitné vody*. 1995. vyd. České Budějovice, 1995. s. 68-75.

- [20] DOLEJŠ, P.: EFFECT OF TEMPERATURE, COAGULANT DOSAGE AND RAPID MIXING ON PARTICLE-SIZE DISTRIBUTION. *Environmet Protection Engeneering*. 1983, vol. 9, no. 1, s. 55-66.
- [21] ŠULC, Radek a Pavel DITL. *Vliv míchání na kinetiku flokulace* [online]. Fakulta strojní ČVUT v Praze: Ústav procesní a zpracovatelské techniky. 2000. [cit. 2016-04-09]. Dostupné z: <http://www1.fs.cvut.cz/cz/u218/peoples/sulc/person/article/r1999/p001/ch9souhr.htm>
- [22] BRATBY, John. *Coagulation and flocculation in water and wastewater treatment*. Vyd. 2. London: IWA Publishing. 2006. ISBN 9781843391067.
- [23] BINNIE, Chris, Martin KIMBER a George SMETHURST. *Basic water treatment*. Vyd. 4. Reston, VA: Distributor for USA, ASCE Press. 2009. ISBN 978-184-3392-248.
- [24] Stevenson, F. J., Butler, J. H. A.: *Chemistry of humic acid and related substances*, in G. Eglinton and M. T. J. Murp 1969. ISBN 978-3-642-87736-0
- [24] KVECH, Steve a Marc EDWARDS. *Solubility controls on aluminum in drinking water at relatively low and high pH*. Water Research. Elsevier, 2002. 36(17), s. 4356– 4368. DOI: 10.1016/S0043-1354(02)00137-9.
- [25] PIVOKONSKÝ, Martin, Petra BUBÁKOVÁ, Lenka PIVOKONSKÁ *A METHOD FOR EVALUATION OF SUSPENSION QUALITY EASY APPLICABLE TO PRACTICE: THE EFFECT OF MIXING ON FLOC PROPERTIES* 2017. [cit. 2017-04-19]. Dostupné z: <https://www.degruyter.com/downloadpdf/j/johh.2011.59.issue-3/v10098-011-0015-7/v10098-011-0015-7.pdf>
- [26] Teixeira, M. R., Rosa, M. J.: Comparing dissolved air flotation and conventional sedimentation to remove cyanobacterial cells of *Microcystis aeruginosa*. Part I: The key operating conditions. *Separation and Purification Technology*, 2006, vol. 52, no. 1, pp. 84-94, ISSN 1383-5866

- [27] DEMPOL-ECO, 2014. [cit. 2017-04-19]. Dostupné z: <http://www.bvv.cz/envibrno/aktuality/dempol-eco-je-vyrobcem-skupiny-chemickyc3/>
- [28] DEMPOL-ECO, 2017.[cit. 2017-04-19]. Dostupné z:<http://dempol.com.pl/koagulanty/>
- [29] Metodické pokyny pro analýzu povrchových a odpadních vod. Institut enviromentálního inženýrství. Laboratoř technologie a hospodaření s vodou. VŠB – TU Ostrava
- [30] Bartovská, Šišková Marie: *Fyzikální chemie povrchů a koloidních soustav*. 5th ed. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2005. ISBN 80-7080-579

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK:

ČR	Česká republika
D	dávka
CHSK	Chemická spotřeba kyslíku
CHSK _{Mn}	Chemická spotřeba kyslíku stanovená manganistanem draselným
κ	Vodivost
KNK _{4,5}	Kyselinová neutralizační kapacita
PAC	Polyaluminiumchlorid
SiO ₂	Oxid křemičitý
SmVaK a.s.	Severomoravské vodovody a kanalizace, akciová společnost
ÚV	Úpravna vody
ZP	Zeta potenciál

SEZNAM OBRÁZKŮ:

Obrázek 1 Schéma velikosti částic v disperzních soustavách	3
Obrázek 2 Interakce částic stabilizovaných elektrickou dvojvrstvou	7
Obrázek 3 Elektrická dvojvrstva vzniklá na povrchu koloidní částice hydroxidu železitého	7
Obrázek 4 Grafické znázornění přechodu destabilizace, restabilizace a enmeshmentu	10
Obrázek 5 Destabilizace pomocí hydrofilních koloidů	11
Obrázek 6 Agregace disperzních částic	12
Obrázek 7 Průběh závislosti (a) elektrického potenciálu, (b) rychlosti koagulace na koncentraci koagulujícího elektrolytu	14
Obrázek 8 Závislost stupně hydrolyzy na pH	15
Obrázek 9 Graf závislosti CHSK, zákalu a pH na dávce síranu hlinitého.....	32
Obrázek 10 Graf závislosti CHSK, zákalu a pH na dávce síranu hlinitého.....	33
Obrázek 11 Graf závislosti CHSK, zákalu a pH na dávce Flokoru 1,2A.....	34
Obrázek 12 Graf závislosti CHSK, zákalu a pH na dávce Flokoru 1,2A.....	35
Obrázek 13 Graf závislosti CHSK, zákalu a pH na dávce Flokoru 1,2A.....	36
Obrázek 14 Graf závislosti CHSK, zákalu a pH na dávce Flokoru 1S.....	37
Obrázek 15 Graf závislosti CHSK, zákalu a pH na dávce Flokoru 1S.....	38
Obrázek 16 Graf závislosti CHSK, zákalu a pH na dávce Flokoru 1S.....	39
Obrázek 17 Graf závislosti CHSK, zákalu a pH na dávce Flokoru DM17H.....	40
Obrázek 18 Graf závislosti CHSK, zákalu a pH na dávce Flokoru DM17H.....	41
Obrázek 19 Graf závislosti CHSK, zákalu a pH na dávce Flokoru DM17H.....	42
Obrázek 20 Graf závislosti CHSK, zákalu a pH na dávce Flokoru D15	43
Obrázek 21 Graf závislosti CHSK, zákalu a pH na dávce Flokoru D15	44
Obrázek 22 Graf závislosti CHSK, zákalu a pH na dávce Flokoru D15	45
Obrázek 23 Závislost Zeta potenciálu	46

SEZNAM TABULEK:

Tabulka 1: Typy úprav surových vod	1
Tabulka 2: Vztah stability a potenciálu	9
Tabulka 3: Stupeň koagulace v rozsahu Zeta potenciálu	9
Tabulka 4: Fyzikální a chemické vlastnosti koagulantu Flokor 1S	22
Tabulka 5: Fyzikální a chemické vlastnosti koagulantu Flokor 1,2 A	23
Tabulka 6: Fyzikální a chemické vlastnosti koagulantu Flokor D15	23
Tabulka 7: Fyzikální a chemické vlastnosti koagulantu Flokor DM17H	24
Tabulka 8: Výsledné hodnoty koagulačního činidla síranu hlinitého	31
Tabulka 9: Výsledné hodnoty koagulačního činidla síranu hlinitého	32
Tabulka 10: Výsledné hodnoty koagulačního činidla Flokor 1,2A	34
Tabulka 11: Výsledné hodnoty koagulačního činidla Flokor 1,2A	35
Tabulka 12: Výsledné hodnoty koagulačního činidla Flokor 1,2A	36
Tabulka 13: Výsledné hodnoty koagulačního činidla Flokor 1S	37
Tabulka 14: Výsledné hodnoty koagulačního činidla Flokor 1S	38
Tabulka 15: Výsledné hodnoty koagulačního činidla Flokor 1S	39
Tabulka 16: Výsledné hodnoty koagulačního činidla Flokor DM17H	40
Tabulka 17: Výsledné hodnoty koagulačního činidla Flokor DM17H	41
Tabulka 18: Výsledné hodnoty koagulačního činidla Flokor DM17H	42
Tabulka 19: Výsledné hodnoty koagulačního činidla Flokor D15	43
Tabulka 20: Výsledné hodnoty koagulačního činidla Flokor D15	44
Tabulka 21: Výsledné hodnoty koagulačního činidla Flokor D15	45
Tabulka 22: Účinnost koagulačních činidel	48